

DIPLOMARBEIT

Konstruktionsrichtlinie

Ausgeführt im Schuljahr 2024/25 von:

Huber Jonas
Hackl Markus
Gutmann Sven
Pabisch Florian

Klasse:

5BHMBT

Betreuer:

AV DI Bernhard Pertl
Dr. Hermann Lang
DI Mag. Harald Gruber

Abgabevermerk:
Datum: 08.04.2025

Betreuer/in:

Danksagung

Einleitend möchten wir die Möglichkeit nutzen, uns bei all denjenigen zu bedanken, die uns während der Erarbeitung dieser Diplomarbeit unterstützt haben.

Dazu gehören zuallererst unsere Diplomarbeitbetreuer AV DI Bernhard Pertl, Dr. Hermann Lang und DI Mag. Harald Gruber. Bei ihnen möchten wir uns für die gute Leitung durch dieses Projekt und die Zeit, die sie in uns investiert haben, recht herzlich bedanken.

Ein besonderes Dankeschön gilt allen Lehrern der HTL Weiz, die indirekt in unser Projekt involviert waren. Sie haben uns die Grundlagen für die Erstellung dieser Arbeit beigebracht. Durch sie wurde diese Arbeit letztendlich erst möglich.

Weiters möchten wir uns für die Einladung zur Vorstellung der Diplomarbeit beim LeTTo Mint Forum in Sankt Pölten und die Unterstützung von Herrn DI Mag. Dr. Daniel Asch-Goiser bedanken. Dadurch hatten wir die Möglichkeit, uns mit Lehrern anderer HTL-Schulen auszutauschen.

Ein weiteres besonders in Erinnerung gebliebenes Event war die Exkursion in Fürstenfeld bei der Sallegger Technologies GmbH & Co KG. Herr Rudolf Posch zeigte uns das Unternehmen und gab uns einen Einblick in eine bestehende Wissensdatenbank, welche eine Inspiration für uns darstellte. Vielen Dank dafür.

Ein weiteres Dankeschön geht an den Herrn Niklas Kogler, der sich an einem Freitagnachmittag die Zeit genommen hat, um die FINITE-Elemente-Analyse Anleitungen zu testen.

Nicht zuletzt möchten wir uns bei Herrn Timo Hölscher, dem Vertriebsleiter von der Firma MDESIGN für das Gespräch und den Testzeitraum des Programms bedanken.

Natürlich wäre es uns, ohne die Unterstützung unserer Eltern, auch nicht möglich gewesen, diese Arbeit zu schreiben. Sie begleiten und unterstützen uns seit vielen Jahren.

Eidesstaatliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe.

Verfasser: Huber Jonas

Datum: 08.04.2025

Ort: Weiz

X

Huber Jonas

Verfasser: Hackl Markus

Datum: 08.04.2025

Ort: Weiz

X

Hackl Markus

Verfasser: Pabisch Florian

Datum: 08.04.2025

Ort: Weiz

X

Pabisch Florian

Verfasser: Gutmann Sven

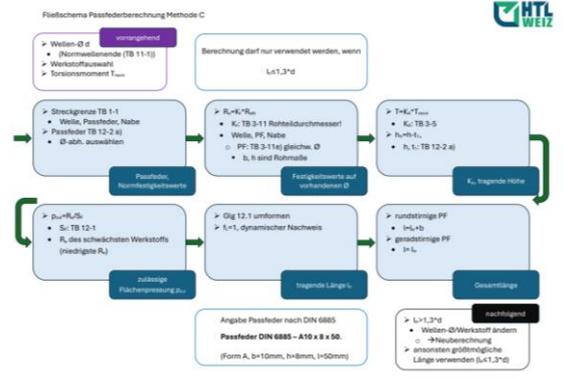
Datum: 08.04.2025

Ort: Weiz

X

Gutmann Sven

Kurzbeschreibung

Name der Verfasser/innen	Huber Jonas Hackl Markus Gutmann Sven Pabisch Florian
Jahrgang Schuljahr	5BHMBT 2024/25
Thema der Diplomarbeit	Konstruktionsrichtlinie
Kooperationspartner	-
Aufgabenstellung	Durch diese Diplomarbeit sollen gewisse Abläufe in der Konstruktion und in der Berechnung durch eine Konstruktionsrichtlinie geregelt werden, um den Unterrichtsinhalt für alle ähnlich zu gestalten. Den Lernenden der HTL Weiz soll auf diese Art und Weise der Bezug und das Arbeiten mit einer Konstruktionsrichtlinie vertraut gemacht werden.
Realisierung	Jeder der Diplomanden erarbeitet selbstständig und eigenständig den ihm zugeteilten beziehungsweise ausgewählten Bereich. Zu jedem Unterthema wird eine Richtlinie erstellt.
Ergebnisse	Eine Richtlinie zur Berechnung und Konstruktion des Getriebes und der Getriebeteile sind das Resultat der Diplomarbeit.
Typische Grafik, Foto etc. (mit Erläuterung)	 <p>Abbildung 1: Fließschema Passfederberechnung</p> <p>Als Beispiel für ein Fließschema der Konstruktionsrichtlinie wird hier ein Berechnungsablauf angeführt.</p>

Teilnahme an Wettbewerben, Auszeichnungen	-
Möglichkeiten der Einsichtnahme in die Arbeit	Jederzeit möglich
Approbation (Datum / Unterschrift)	

Tabelle 1: Kurzbeschreibung (eigene Darstellung)

Abstract

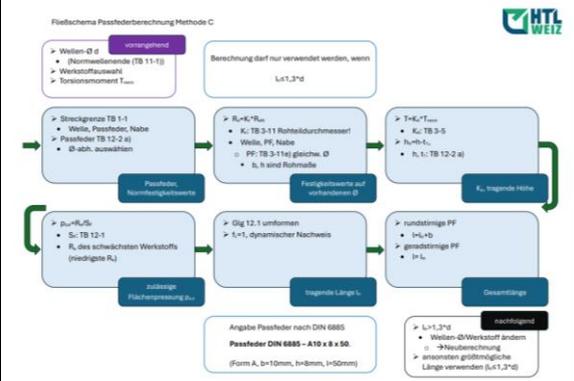
Author(s)	Huber Jonas Hackl Markus Gutmann Sven Pabisch Florian
Form Academic year	5BHMBT 2024/25
Topic	Construction Guideline
Co-operation Partner	-
Assignment of Tasks	Through this diploma thesis, certain processes in construction and calculation are to be regulated by a construction guideline in order to make the teaching content similar for all. In this way, the students of the HTL Weiz will be made familiar with the reference and working with a construction guideline.
Realization	Each of the graduates independently develops the area selected or assigned to them. A guideline is created for each sub-topic.
Results	A guideline for the calculation and design of the gearbox and the gearbox parts are the result of the diploma thesis.
Illustrative Graph, Photo (inkl. explanation)	 <p>Abbildung 2: Fließschema Passfederberechnung</p> <p>An example of a flow chart of the construction guideline is given here.</p>
Participation in Competitions Awards	-
Accessibility of Diploma Thesis	At any time
Approval (Date / Sign)	

Tabelle 2: Abstract (eigene Darstellung)

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	II
Eidesstaatliche Erklärung	III
Kurzbeschreibung.....	IV
Abstract	VI
Inhaltsverzeichnis	1
1 Einleitung.....	6
1.1 Aufgabenstellung.....	6
1.1.1 Huber Jonas.....	6
1.1.2 Hackl Markus	6
1.1.3 Gutmann Sven	6
1.1.4 Pabisch Florian	6
1.2 Zielsetzung.....	7
1.2.1 Huber Jonas.....	7
1.2.2 Hackl Markus	7
1.2.3 Gutmann Sven	7
1.2.4 Pabisch Florian	7
1.3 Meilensteine	8
1.3.1 Huber Jonas.....	8
1.3.2 Hackl Markus	8
1.3.3 Gutmann Sven	9
1.3.4 Pabisch Florian	9
2 Hauptteil	10
2.1 Erkenntnisse aus der Diplomarbeit <i>Konstruktionsvorschrift</i> aus dem Schuljahr 2024/25	10
2.1.1 Aufgabenstellung für Herrn Niklas Kogler	10
2.1.2 Verbesserungsvorschläge von Herrn Kogler	10
2.1.2.1 ANSYS-Aufbereitung für das Balkenmodell	10
2.1.2.2 ANSYS-Analyse für das Balkenmodell	11
2.1.2.3 ANSYS-Analyse für das Volumenmodell	11
2.1.2.4 Inventor-Bauteilanalyse für das Volumenmodell	11
2.2 Berechnungsabläufe und Fließschemata (Huber Jonas)	12
2.2.1 Recherche verschiedener Berechnungsprogramme	12

2.2.1.1	KISSsoft®	12
2.2.1.2	MDESIGN	13
2.2.1.3	Mathcad	15
2.2.2	Übersicht über Maschinenelemente zur Welle-Nabe-Verbindung	15
2.2.3	Relevante Maschinenelemente zur Welle-Nabe-Verbindung bei der Konstruktion eines Getriebes	15
2.2.4	Unterschiede bei der Berechnung	16
2.2.4.1	Allgemeiner Vergleich	18
2.2.4.2	Passfederverbindung	19
2.2.4.3	Lagerlebensdauerberechnung	23
2.2.4.4	Einführung Festigkeitsberechnung und statische Festigkeit Welle	27
2.2.4.5	Ermüdungsfestigkeitsnachweis auf Dauerfestigkeit	33
2.2.4.6	Gesamtüberdeckung, Zahnfußtragfähigkeit und Grübchentragfähigkeit für ein Getriebe	35
2.2.5	Berechnungen des Beispielgetriebes	37
2.2.5.1	Berechnen der Zahnkräfte	37
2.2.5.2	Erstellen der Programme für die Berechnung der Lagerkräfte	37
2.2.5.3	Darstellen der Momentenverläufe	38
2.2.5.4	Erstellen einer Inventor-Gestellanalyse zur Veranschaulichung der Momentenverläufe und zur Nachrechnung der Lagerkräfte	41
2.2.6	Erstellen von Fließschemata zur Visualisierung der Berechnungsabläufe	44
2.2.7	Exkursion <i>Sallegger Technologies GmbH & Co KG</i>	45
2.2.7.1	Mitschrift	45
2.3	Berechnungsabläufe mit LeTTo (Hackl Markus)	48
2.3.1	Erste Anfänge	48
2.3.2	Durchführung	48
2.3.2.1	Der Ausgabebereich	49
2.3.2.2	Der Fragenbereich	50
2.3.2.3	Der Maximabereich	51
2.3.3	Beschreibung anhand eines Beispiels	51
2.3.3.1	Ausgabebereich	51
2.3.3.2	Fragenbereich	52
2.3.3.3	Maximabereich	53

2.3.4	Probleme/Hindernisse	54
2.3.4.1	Dividieren	54
2.3.4.2	Einheitenrechnung	54
2.3.5	Finales Ergebnis	54
2.4	Konstruktionsablauf (Gutmann Sven).....	55
2.4.1	Parameter für Konstruktion	55
2.4.1.1	Vorgegebene Parameter aus Berechnung	55
2.4.1.2	Berechnen der Wellendurchmesser	55
2.4.2	Getriebe + Normteile	56
2.4.2.1	Ritzelwelle	56
2.4.2.2	Stirnräder	56
2.4.2.3	Abtriebswelle.....	57
2.4.2.4	Zusammenfügen von Ritzelwelle und Abtriebswelle	57
2.4.2.5	Abstandsring	58
2.4.2.6	Normteile einfügen	59
2.4.3	Gehäuse + Normteile	61
2.4.3.1	Unterteil.....	61
2.4.3.2	Oberteil	66
2.4.3.3	Lagerdeckel	67
2.4.3.4	Gehäuse zusammenfügen	68
2.4.4	Zusammenbauen des gesamten Getriebes	69
2.4.4.1	Gliederung der gesamten Konstruktion (ohne Normteile)	71
2.4.5	Berechnungen.....	72
2.4.5.1	Wellendurchmesser	72
2.4.5.2	Passfeder	73
2.4.5.3	Sicherungsring-Einbaumaße.....	73
2.4.5.4	O-Ring-Einbaumaße	74
2.4.5.5	Wellendichtring-Einbaumaße	74
2.5	PDM- und PLM-System.....	75
2.5.1	Definition	75
2.5.1.1	PDM	75
2.5.1.2	PLM	75
2.5.2	Entwicklung.....	75

2.5.2.1	PDM	75
2.5.2.2	PLM	76
2.5.3	Bsp. PLM-Riesenrad	77
2.5.4	Anwendung im Inventor	78
2.5.4.1	Einzelbenutzerprojekt	78
2.5.4.2	Autodesk Vault Basic-Projekte	78
2.6	FINITE-Elemente Berechnung des Getriebes (Pabisch Florian)	80
2.6.1	Erläuterung der Software-Pakete	80
2.6.1.1	ANSYS Workbench 2024 R2	80
2.6.1.2	NASTRAN 2024	80
2.6.2	Allgemeines zur FINITINE-Elemente Analyse	81
2.6.3	Mesh (Netz).....	81
2.6.4	Berechnungsweise	82
2.6.4.1	LU-Verfahren.....	82
2.6.4.2	GMRES-Algorithmus.....	82
2.6.5	Geometriebeschreibung	82
2.6.5.1	Volumenmodell	82
2.6.5.2	Balkenmodell	82
2.6.6	Einführung in NASTRAN durch ein Rundstab-Beispiel	83
2.6.6.1	Allgemein	83
2.6.6.2	Durchführung der Analyse.....	83
2.6.6.3	Nachrechnung in Excel	83
2.6.6.4	Fehlerquelle	83
2.6.7	Aufbereitung der Volumen- und Balkenmodelle	84
2.6.7.1	ANSYS.....	84
2.6.7.2	NASTRAN und Inventor-Bauteilanalyse	85
2.6.8	Randbedingungen der Analyse	86
2.6.8.1	Mesh (Size).....	86
2.6.8.2	Festlager	87
2.6.8.3	Loslager	89
2.6.8.4	Zahnkräfte	90
2.6.8.5	Momente	92
2.6.8.6	Stirnradstufe in ANSYS.....	93

2.6.9	Ergebnisauswertung	94
2.6.9.1	Auflagerkräfte [N]	94
2.6.9.2	Spannungen [N/mm ²]	94
2.6.9.3	Verformungen [mm]	94
2.6.9.4	Händische Nachrechnung	95
2.6.10	Vor- und Nachteile der einzelnen Programme	95
2.6.10.1	ANSYS	95
2.6.10.2	NASTRAN	96
2.6.10.3	Inventor-Bauteilanalyse	97
3	Besprechungsprotokoll als Beispiel	98
4	Stundenprotokolle	101
4.1	Huber Jonas	101
4.2	Hackl Markus	103
4.3	Gutmann Sven	104
4.4	Pabisch Florian	105
5	Zusammenfassung	107
5.1	Huber Jonas	107
5.2	Hackl Markus	107
5.3	Gutmann Sven	108
5.4	Pabisch Florian	108
6	Abbildungsverzeichnis	109
7	Tabellenverzeichnis	113
8	Literaturverzeichnis	114

1 Einleitung

Der KOP¹-Unterricht ist sehr lehrerspezifisch. Die Aufgabe ist es, gewisse Abläufe in der Konstruktion und in der Berechnung durch eine Konstruktionsrichtlinie zu regeln, um den Unterrichtsinhalt für alle ähnlich gestalten zu können. Den Lernenden und Lehrenden der HTL Weiz soll auf diese Art und Weise der Umgang mit einer Konstruktionsvorschrift vertraut gemacht werden.

1.1 Aufgabenstellung

1.1.1 Huber Jonas

Lizenzen für Berechnungsprogramme

Kurze Recherche zum Einsatzgebiet und den Funktionen der Programme KISSsoft, MDESIGN und Mathcad sowie Kontaktaufnahme mit den Anbietern von MDESIGN und KISSsoft, um Lizenzen zu erhalten.

Auswahl eines Berechnungsvorgangs nach einem Lehrbuch

Analyse der Unterschiede der Berechnungsabläufe zur Ermüdungsfestigkeit von Wellen, zur Lagerberechnung und zur Passfederberechnung. Dabei werden vier Lehrbücher verglichen. Anschließend folgt die Auswahl eines Lehrbuches für die einzelnen Berechnungen.

1.1.2 Hackl Markus

Die von einem anderen Diplomanden ausgewählten Berechnungsvorgänge sollen in eine E-Learning Software (LeTTo) implementiert werden. Dazu werden GNU Octave, LeTTo, LaTeX Formeln und einfache Programmierung benötigt. Zu diesen Themen soll recherchiert werden und genug Wissen für die Implementierung gesammelt werden. Danach sollen die Berechnungen in die E-Learning Software übertragen werden.

1.1.3 Gutmann Sven

Literaturrecherche über Vaultprojekt (PDM&PLM) + Testbsp., die Konstruktion eines Getriebes mit horizontaler Teilung und Schrägverzahnung, sowie die Dokumentation über den Konstruktionsablauf. Die Getriebekonstruktion beinhaltet selbst konstruierte Bauteile und ausgewählte Normteile, sowie Berechnung/Auslegung diverser Einzelteile.

1.1.4 Pabisch Florian

In den 3.Klassen der Abteilung Maschinenbau wird im Zuge des Konstruktionsunterrichts ein einstufiges schrägverzahntes Stirnradgetriebe berechnet und konstruiert. Um den Unterricht zu ergänzen, werden FE²-Analysen zur

¹ Konstruktion und Projektmanagement

² FINITE-Elemente, ein numerisches Verfahren zur näherungsweise Lösung komplexer Systeme

numerischen Berechnung und Simulation erstellt. Um den Unterricht zu standardisieren wurden Anleitungen verfasst. Diese Dokumente beinhalten eine Schritt- für Schritt Anleitung zur Aufbereitung und zur Analyse der Ritzelwelle, der Abtriebswelle und der Stirnradstufe (Baugruppe) als Volumenmodell und als Balkenmodell. Die Anleitungen sind für die Volumenkörper-Analyse in ANSYS, NASTRAN, Inventor-Bauteilanalyse und für die Balkenmodell-Analyse mittels ANSYS konzipiert. Mit Hilfe dieser Simulationen wurden Auflagerkräfte, Spannungen und Verformungen der Wellen analysiert.

1.2 Zielsetzung

Durch die Konstruktionsrichtlinie soll ein Nachschlagewerk geschaffen werden, das die üblichen Vorgänge bei der Auslegung und Konstruktion, insbesondere bei einem Getriebe, beinhaltet. Die Selbstständigkeit der zu lehrenden Personen wird dadurch gefördert.

1.2.1 Huber Jonas

Es soll jeweils für die genannten Berechnungen ein Buch und somit ein Berechnungsablauf ausgewählt werden. Die Auswahl soll begründet werden. Nach diesem Buch werden die zukünftigen Lernenden ihr Getriebe auslegen.

Die erstellten Berechnungssheets dienen als Vorlage zur Implementierung in die E-Learning Plattform (LeTTo) durch einen Diplomanden unseres Teams.

1.2.2 Hackl Markus

Die Lernenden sollen eine Anleitung der Berechnungen mit allen Formeln und Tabellen erhalten und zusätzlich ihre Berechnungen mit der E-Learning Software überprüfen können.

1.2.3 Gutmann Sven

Erstellen einer Konstruktionsvorschrift (genaue Anleitung wie man ein Getriebe im Inventor aufbaut)

1.2.4 Pabisch Florian

Erstellen einer Anleitung und einer Analyse der FE-Berechnung (Inventor-Bauteilanalyse, ANSYS, NASTRAN).

1.3 Meilensteine

1.3.1 Huber Jonas

<i>Datum</i>	<i>Meilenstein</i>
20.08.2024	<i>Erstellen von Berechnungsprogrammen für die Ermüdungsfestigkeit nach 4 Lehrbüchern. Allgemein ohne Zug- Druckbeanspruchung. Diese wurde bei der ausgewählten Berechnungsmethode hinzugefügt, da sie bei einem schrägverzahnten Getriebe auftreten.</i>
25.08.2024	<i>Erstellen von Berechnungsprogrammen für die Passfederberechnung nach 4 Lehrbüchern. Methode C wurde gewählt, da Methode B nicht in allen Lehrbüchern angeführt wird. Dieser Meilenstein beinhaltet noch nicht die Berechnung mit MDESIGN.</i>
25.08.2024	<i>Erstellen von Berechnungsprogrammen für die Lagerberechnung nach 4 Lehrbüchern. (Anmerkung: Änderung nach Absprache mit dem Betreuer: Erstellen eines Berechnungsprogrammes für die Lagerberechnung nach einem ausgewählten Lehrbuch.)</i>
28.08.2024	<i>Excel Dateien wurden erstellt, um die Übersichtlichkeit der Unterschiede in den Berechnungsabläufen darzustellen. Dabei wurde die Passfederberechnung, der Ermüdungsfestigkeitsnachweis und die Lagerberechnung behandelt.</i>
28.08.2024	<i>Erstellen von Berechnungsprogrammen zur Berechnung von Lagerkräften. Die berechneten Werte wurden mithilfe einer Inventor Gestell-Analyse überprüft. Auf Grunde dieser Lagerkräfte und dem erstellten Lagerberechnungsprogrammen wurden die Lager für unser Getriebe berechnet.</i>
01.02.2025	<i>Dokumentation Druckversion fertiggestellt</i>

1.3.2 Hackl Markus

<i>Datum</i>	<i>Meilenstein</i>
30.07.2024	<i>Grundlegendes Verständnis von GNU Octave erhalten</i>
10.08.2024	<i>E-Learning Software LeTTo verstehen und Mehrfachberechnungsaufgaben erstellen können</i>
02.09.2024	<i>Erste Berechnung vollständig in Letto implementiert.</i>
01.12.2024	<i>Dokumentation alle Schritte zu Implementierung fertiggestellt</i>

1.3.3 Gutmann Sven

<i>Datum</i>	<i>Meilenstein</i>
23.08.2024	Grundlegendes Verständnis sowie Recherche über PDM&PLM
1.11.2024	Ordnerstruktur (Bauteile, Baugruppen, Zeichnungsableitungen, Normteile) und Erstellen der Parameter (Hauptabmessungen des Getriebes)
01.12.2024	Konstruktion der Ritzelwelle und Antriebswelle
01.01.2024	Literaturrecherche über Vaultprojekt fertiggestellt + Testbsp. Beginn mit Zeichnungsableitungen
01.02.2025	Getriebekonstruktion + Zeichnungsableitungen fertiggestellt
01.02.2025	Konstruktionsvorschrift fertiggestellt

1.3.4 Pabisch Florian

<i>Datum</i>	<i>Meilenstein</i>
20.10.2024	Grundlegendes Verständnis zu den einzelnen Systemen (Pdf von Prof. Lang zu ANSYS, Tutorials zu den Systemen, Informationen aus dem Internet)
01.11.2024	Recherche zu den einzelnen Systemen (Recherche und nahezu fertiggestellte Dokumentation/Informationen zu den Programmen), einfaches Bsp. in Nastran importieren/berechnen und kurz dokumentieren)
02.11.2024	Beginn der ersten FE-Berechnung (Auflagerkräfte, Schnittgrößenverläufe, Nennspannungen, Dauerfestigkeit) zur Antriebswelle mit Inventor-Bauteilanalyse, ANSYS, Nastran, weiterfolgend die Schrittweise Dokumentation und Erstellung der Anleitung
21.11.2024	Fertigstellung der Analyse der Antriebswelle, Beginn der FE-Berechnung (Auflagerkräfte, Schnittgrößenverläufe, Nennspannungen, Dauerfestigkeit) zur Abtriebswelle mit Inventor-Bauteilanalyse, ANSYS, Nastran, weiterfolgend die Schrittweise Dokumentation und Erstellung der Anleitung
15.12.2024	Fertigstellung der Analyse der Abtriebswelle, Beginn der FE-Berechnung (Auflagerkräfte an den Lagersitzen (Lagerschalen), Kräfte an den Auflagepunkten/Verschraubungspunkten) zur Getriebegehäuse mit Inventor-Bauteilanalyse, ANSYS, Nastran, weiterfolgend die schrittweise Dokumentation und Erstellung der Anleitung
01.01.2025	Analyse fertiggestellt (Antriebswelle, Abtriebswelle, Getriebegehäuse)
01.02.2025	Anleitung fertiggestellt (Antriebswelle, Abtriebswelle, Getriebegehäuse)

2 Hauptteil

2.1 Erkenntnisse aus der Diplomarbeit *Konstruktionsvorschrift* aus dem Schuljahr 2024/25

Um Erkenntnisse und Verbesserungsvorschläge zur Aufgabenstellung der FINITE-Elemente Analyse zu sammeln, wurden Herrn Niklas Kogler, einem Schüler der jetzigen 3AHMBU, Aufgaben gestellt.

2.1.1 Aufgabenstellung für Herrn Niklas Kogler

Die erste Aufgabenstellung war die Aufbereitung der Ritzelwelle für die ANSYS-Analyse des Balkenmodells und die weiterfolgende Analyse dieses Modells. Hierfür wurden zwei zuvor erstellte Anleitungen zur Verfügung gestellt. Für die zweite Aufgabenstellung wurde die Aufbereitung mithilfe der Anleitung für das ANSYS Volumenmodell durchbesprochen und auf einfache Verständlichkeit überprüft. Im nächsten Schritt wurde die Analyse des Volumenmodells in ANSYS durchgeführt. Als letzten Auftrag bekam Herr Kogler die Analyse in der Inventor-Bauteilanalyse. Die Aufbereitung wurde im Vorhinein ebenfalls auf einfache Verständlichkeit geprüft.

2.1.2 Verbesserungsvorschläge von Herrn Kogler

2.1.2.1 ANSYS-Aufbereitung für das Balkenmodell

Die Lagerstellentrennung gehört besser beschrieben und eventuell durch ein weiteres Bild ergänzt. Es sollte leichter erkenntlich sein, welche Wellenabsatzlänge für die Lagerstelle angewendet werden soll. Die erste Absatzlänge wird von der Absatzkante bis zur Ebene und die zweite Absatzlänge von der Ebene bis zum nächstgrößeren Absatz gemessen. Es sollte besser erkenntlich gemacht werden, dass der Durchmesser am Zahnradabsatz der Welle dem Fußkreisdurchmesser entspricht. Dieser Fußkreisdurchmesser stammt aus der Berechnungsdatei. Darauf sollte extra in der Anleitung hingewiesen werden. Eine Kleinigkeit, die am Schluss erwähnt werden sollte, ist, dass die txt-Datei nach jeder Änderung gespeichert werden muss, da diese keine automatische Speicherfunktion besitzt.

2.1.2.2 ANSYS-Analyse für das Balkenmodell

Es sollte besser beschrieben werden, wo das Icon „View“ zu finden ist. Eventuell sollte auch hier eine kleine Abbildung eingefügt werden. Die „drag and drop“ Funktion sollte einfacher erklärt werden, vor allem beim Verknüpfen von der „Geometry“ mit der „Geometry“ der „Static-Structural“. Ein weiterer Punkt ist, dass besser beschrieben gehört, wo das Mesh zu finden ist, und nach dem Generieren das Netz mit dem Befehl „show Mesh“ eingeblendet werden kann. Beim Einfügen der Lagerstelle müssen mithilfe der Funktion „Nodes“ die Knoten ausgewählt werden. Um dies zu erleichtern, sollte ein größeres Bild vom Icon eingefügt werden. Nach dem Einfügen des ersten „Remote-Displacement“ war die weitere Vorgehensweise unklar. Für mehr Klarheit sollte bei jedem „Remote-Displacement“, ein Verweis eingefügt werden, zu dem Schritt, wo ein neues, erstellt wird. Beim Einfügen der axialen Sperre, sollte ein Bild des Icons von der Linienauswahl ergänzt werden. Beim Eintragen der Kraftkomponenten, sollte auf die Berechnung verwiesen werden, damit klar ersichtlich ist, woher diese stammen. Als Letztes sollte noch ergänzt werden, dass das Moment in der Einheit [Nmm] einzugeben ist, und die Solution durch Anklicken der einzelnen Ergebnisse angezeigt werden kann.

2.1.2.3 ANSYS-Analyse für das Volumenmodell

Es gibt zwei Punkte die verbessert gehören. Der erste Punkt ist, dass die Teilkreisflanke, in der die Linie sich befindet, besser markiert bzw. besser beschrieben gehört, wie diese zu finden ist. Der zweite Punkt ist, dass ein Hinweis beim Moment zu schreiben ist, dass dies in der Einheit [Nmm] einzugeben ist.

2.1.2.4 Inventor-Bauteilanalyse für das Volumenmodell

Bei der PIN-Abhängigkeit sollte ergänzt werden, dass jede einzeln einzufügen ist. Weiters muss darauf hingewiesen werden, dass zuerst auf „Simulieren“ und dann auf „Ausführen“ gedrückt werden muss.

2.2 Berechnungsabläufe und Fließschemata (Huber Jonas)

2.2.1 Recherche verschiedener Berechnungsprogramme

Es folgt eine allgemeine Erklärung, wozu die Programme *KISSsoft®*, *MDESIGN* und *Mathcad* verwendet werden können und eine Auflistung der Möglichkeiten, die sie bei der Berechnung und Auslegung eines Getriebes bieten.

2.2.1.1 *KISSsoft®*

KISSsoft® ist ein Programm zur Auslegung, Optimierung und Nachrechnung von Maschinenelementen nach den verschiedenen Normen und Richtlinien. Es ist modular aufgebaut, was bedeutet, dass je nach Bedarf gewisse Bereiche des Programms erworben werden können. Die Firma wirbt damit, dass das Produkt in alle gängigen CAD-Systeme integriert werden kann. Sie bieten außerdem ein Modell an, mit dem man sehr schnell komplette Getriebe modellieren und darstellen kann.

Vorteile:

Zahnräder:

Alle gängigen Arten von Zahnrädern können berechnet werden. Das Unternehmen bietet neben der Berechnung nach einigen unterschiedlichen Normen noch viele zusätzliche Auslegungshilfen, Optimierungshilfen und Bewertungsmethoden an.

Wellen- und Lagerberechnung:

Wellenfestigkeiten, die Lagerlebensdauer und die kritischen Eigenfrequenzen können mit der Software ermittelt werden. Bei der Berechnung werden spezielle Normen berücksichtigt.

Welle-Nabe-Verbindungen:

Im Programm erfolgt eine Überprüfung, ob die auftretenden Pressbelastungen unterhalb der zulässigen liegen. Mithilfe der Module kann unter anderem das Drehmoment angegeben werden, welches mit dieser Verbindung maximal übertragen werden kann.

Schrauben:

Mithilfe von *KISSsoft®* können Schraubenverbindungen nach der VDI 2230 Blatt 1, einer Richtlinie, nachgerechnet werden. Außerdem kann ein FE-Nachweis erbracht werden, wie er im Blatt 2 dieser VDI-Richtlinie beschrieben wird. Ausgegeben werden können nicht nur das Protokoll, sondern auch das Verspannungsdiagramm, die Vorspannkräfte für die Montage und die Schraubengeometrie.

Tutorials:

Das Unternehmen bietet Schritt-für-Schritt-Anleitungen für spezifische Rechengvorgänge an, welche den Einstieg in das Programm bestimmt immens erleichtern.

Diese und viele weitere Möglichkeiten im Bereich der Berechnung und der Darstellung werden angeboten.

(vgl. KISSsoft®, 2024)

2.2.1.1.1 Kontaktaufnahme:

Es erfolgte eine Kontaktaufnahme mit der Firma *KISSsoft®*. Darauf stellte sich heraus, dass bereits ein Hochschulvertrag besteht.

2.2.1.2 MDESIGN

MDESIGN wirbt mit langjähriger Erfahrung sowie mit dem Einsatz von Machine-Learning³ und künstlicher Intelligenz. Außerdem werden Seminare angeboten, um Menschen in der Konstruktion zu schulen.

Vorteile: MDESIGN mechanical*Schraubenverbindung, Bolzen, Stifte:*

Mithilfe des Programms können Schraubenverbindungen nach der Richtlinie VDI 2230 und der Norm Eurocode 3 ausgelegt, nachgewiesen und optimiert werden. Bolzen und Stifte können nach der Norm DIN EN berechnet werden.

Wellen, Achsen, Naben:

Für die Festigkeitsberechnung von Wellen wird die Norm DIN 743 und die FKM-Richtlinie herangezogen. Die Basis für Welle-Nabe-Verbindungen ist die DIN ISO Norm. Das Ergebnis ist eine Sicherheit, die maßgeblich dafür ist, ob das Bauteil im späteren Verlauf für einen sicheren Betrieb geeignet ist. Die Software ist in der Lage, die Ergebnisse grafisch auszuwerten. Dadurch können Durchbiegungen und Spannungen visualisiert werden.

Wälz- und Gleitlager, Lineartechnik:

Nicht nur die nominelle, sondern auch die modifizierte und erweiterte Lagerlebensdauer nach der Norm DIN 26281 beziehungsweise ISO/TS 16281 können mit *MDESIGN* berechnet werden. Das Programm bietet außerdem eine integrierte Lagerdatenbank.

³ Maschinelles lernen, Maschinen sollen aus Daten und Erfahrungen lernen

Verzahnungen, Getriebe, Antriebstechnik:

Mit der Software können Getriebe modelliert werden. Zum Beispiel Stirnradpaare, Zahnstangen, Hohlräder, Kegel- und Hypoidräder, Kronenräder, Schneckenräder, Kunststoffräder, Planetenradgetriebe und Getriebebaugruppen können mit den Modulen berechnet werden. Um gesamte Getriebe zu berechnen, werden zusätzliche Module angeboten. (*MDESIGN gearbox*) Die Verzahnungen können nach diversen Normen berechnet werden. (DIN, EN, AGMA, ISO)

Schweißverbindungen, Löt- und Klebverbindungen:

Nach FKM-Richtlinie, der Norm Eurocode 3 sowie DVS-Merkblättern (Richtlinien) können Schweißnähte berechnet werden.

(vgl. MDESIGN, 2024)

2.2.1.2.1 Kontaktaufnahme und Testzeitraum:

Es erfolgte eine Kontaktaufnahme mit dem Vertriebsleiter der Firma *MDESIGN*. Nach sehr freundlicher Antwort wurde eine Teams-Konferenz geplant und durchgeführt.

Herr Hölscher beantwortete alle Fragen sehr freundlich. Inhalte des Gesprächs waren die Testversion, schrägverzahnte einstufige Getriebe und die Angebote von *MDESIGN* zu Campus Lizenzen.

Zur Testung des Programms wurde ein Testzeitraum ausgemacht. In diesem wird *MDESIGN* als Onlineversion zur Verfügung gestellt.

Der Testzeitraum wurde verwendet, um die Passfederberechnung, die Berechnung von Kugellagern und die Wellenberechnung kennen zu lernen. Dafür wurde eine Passfeder und ein Kugellager eines Getriebes mit dem Programm berechnet. Leider hat die Wellenberechnung nicht wie gewünscht funktioniert. Im Laufe der Berechnung wurde das Programm öfters automatisch geschlossen, ohne Änderungen zu speichern. Dieser Fehler wurde dem Support des Unternehmens als Feedback mitgeteilt. Dieser meldete sich nach kurzer Zeit und fragte nach der verwendeten STEP-Datei⁴. Nach dem Erhalt testeten die Angestellten des Unternehmens den Vorgang mit der zur Verfügung gestellten Geometrie und meldeten sich zurück. Sie haben keinen Fehler gefunden und bei ihnen funktioniert alles einwandfrei. Möglich ist, dass die verwendete Hardware bzw. Internetverbindung für den Fehler verantwortlich ist.

Die Berechnungsprotokolle wurden abgespeichert.

⁴ Datei in einem herstellerunabhängigen Format zur Beschreibung von 3D-Modellen.

2.2.1.3 Mathcad

PTC Mathcad ist ein Berechnungsprogramm für technische Berechnungen, welches sehr benutzerfreundlich aufgebaut ist. In der Anwendung werden die Berechnungen sehr übersichtlich und sauber dokumentiert. Das Programm arbeitet mit Formeln, welche aus selbst definierten Variablen bestehen. Im Prinzip wie eine Handrechnung, nur eben digital. Außerdem wird automatisch eine Einheitenrechnung durchgeführt, was einen großen Vorteil darstellt. Ebenfalls ist das Umrechnen der Einheiten hinfällig, da Mathcad das Ergebnis automatisch an die gewünschte Einheit des Ergebnisses anpasst. Die Berechnungen können einfach geändert werden und sind sehr anschaulich.

2.2.2 Übersicht über Maschinenelemente zur Welle-Nabe-Verbindung

Folgend wird eine Tabelle angeführt, in der die üblichen Maschinenelemente bei Welle-Nabe-Verbindungen angegeben werden.

Reibschlüssige Verbindungen	Formschlüssige Verbindungen
Querpressverband	Pass- und Gleitfeder
Längspressverband	Keilwelle
Kegelpressverband	Zahnwelle
Kegelspannring	Polygonprofil
Kegelspannsatz	Längsstift
Schrumpfscheibe	Querstift
Sternscheibe	
Druckhülse	
hydraulische Spannbuchse	Stoffschlüssige Verbindungen
Toleranzring	Klebverbindung
Klemmverbindung	Lötverbindung
Kreiskeilverbindung	Schweißverbindung

Tabelle 3: Übersicht Welle-Nabe-Verbindung (Wittel, Jannasch, Voßiek, & Spura, 2019, S. 420)

2.2.3 Relevante Maschinenelemente zur Welle-Nabe-Verbindung bei der Konstruktion eines Getriebes

Nicht alle der oben angeführten Maschinenelemente sind für den Einsatz bei einem Getriebe sinnvoll. Wichtige Argumente bei der Auswahl sind unter anderem die Lösbarkeit der Verbindung und eine gute Wiederverwendbarkeit. Es ist sinnvoll und sehr relevant, die Konstruktion so zu gestalten, dass Reparatur und Wartung gut möglich sind.

Folgende Verbindungsarten sind sinnvoll:

Sehr gut geeignete Welle-Nabe-Verbindungen, wenn eine gute Wiederverwendbarkeit gefragt ist. (Wittel, Jannasch, Voßiek, & Spura, Roloff/Matek Maschinenelemente Normung Berechnung Gestaltung, 2019, S. 420)

reibschlüssig:

- 1) Kegelpressverband
- 2) Kegelspannring
- 3) Kegelspannsatz
- 4) Schrumpfscheibe
- 5) Sternscheibe
- 6) Druckhülse
- 7) Hydraulische Spannbuchse
- 8) Toleranzring
- 9) Klemmverbindung

formschlüssig:

- 1) Pass- und Gleitfeder
- 2) Keilwelle
- 3) Zahnwelle
- 4) Polygonprofil

stoffschlüssig:

-

Für unser Getriebe wird bevorzugt die Passfederverbindung verwendet, da sie ein generell wichtiges Maschinenelement darstellt, welches oft Verwendung findet.

2.2.4 Unterschiede bei der Berechnung

Viele Berechnungsabläufe sind nicht allgemein gleich. Manche Abläufe sind in den bekanntesten Lehrbüchern ähnlich angegeben, andere komplett anders.

Im Folgenden werden einige wichtige Berechnungsabläufe bei der Konstruktion und Auslegung eines Getriebes aus 4 Lehrbüchern analysiert, um die Vorgänge an der Schule zu vereinheitlichen. Dafür wird der Berechnungsvorgang, der für die zu Lehrenden am besten geeignet ist, ausgewählt. Zusätzlich zur folgenden Auflistung von Vor- und Nachteilen und der Auswahl eines Vorgangs wurden Excel-Dateien erstellt, welche die Unterschiede ergänzend übersichtlich darstellen.

Diese Bücher wurden zur Analyse der Berechnungsvorgänge verwendet:

- 1) Folgend *Roloff/Matek*
 - a. Roloff/Matek Maschinenelemente, 24. Auflage
 - i. (Wittel, Jannasch, Voßiek, & Spura, Roloff/Matek Maschinenelemente Normung Berechnung Gestaltung, 2019)
 - ii. (Wittel, Jannasch, Voßiek, & Spura, Roloff/Matek Maschinenelemente Tabellenbuch, 2019)
- 2) Folgend *Decker* nach dem erstgenannten Autor
 - a. Maschinenelemente Funktion, Gestaltung und Berechnung, 19. Auflage
 - i. (Decker & Kabus, Maschinenelemente Funktion, Gestaltung und Berechnung, 2014)
 - ii. (Decker & Kabus, Maschinenelemente Tabellen und Diagramme, 2014)
- 3) Folgend *Köhler/Rögnitz*
 - a. Köhler/Rögnitz Maschinenteile Teil 1, 7. Auflage
 - i. (Pokorny, Köhler/Rögnitz Maschinenteile Teil 1, 1986)
 - b. Köhler/Rögnitz Maschinenteile Teil 2, 7. Auflage
 - i. (Pokorny, Köhler/Rögnitz Maschinenteile Teil 2, 1986)
- 4) Folgend *Niemann* nach dem erstgenannten Autor
 - a. Maschinenelemente Band 1: Konstruktion und Berechnung von Verbindungen, Lagern, Wellen, 4. Auflage
 - i. (Niemann, Winter, & Höhn, Maschinenelemente Band 1: Konstruktion und Berechnung von Verbindungen, Lagern, Wellen, 2005)
 - b. Maschinenelemente Band 2: Getriebe allgemein, Zahnradgetriebe-Grundlagen, Stirnradgetriebe, 2. Auflage
 - i. (Niemann & Winter, Maschinenelemente Band 2: Getriebe allgemein, Zahnradgetriebe - Grundlagen, Stirnradgetriebe, 2003)

Die Bücher werden jeweils zum Buch *Roloff/Matek* verglichen, da dieses bis jetzt der Standard war und ist. Jeder Schüler hat dieses Buch zur Verfügung. Es dient daher als Vergleichswert. Im Folgenden werden Unterschiede zwischen den Büchern bzw. den Berechnungsabläufen aus den Büchern aufgelistet, welche zuvor analysiert wurden.

2.2.4.1 Allgemeiner Vergleich

2.2.4.1.1 Roloff/Matek

Zum Lehrbuch wird zusätzlich ein Tabellenbuch benötigt. Der Berechnungsablauf wird mit anschaulichen visuellen Darstellungen und Bildern erklärt. Zum Verständnis wird ergänzend die Theorie zur Berechnung gut erklärt. Die Formeln werden hervorgehoben, sind in Reihenfolge angeordnet, werden mit Theorie beschrieben und bei aufwendigen Formeln wird eine Einheitentabelle angeführt. Manche Formeln müssen jedoch mühsam aus dem Text herausgelesen werden.

2.2.4.1.2 Decker

Der grundsätzliche Aufbau ist ähnlich, es wird ebenfalls ein Tabellenbuch benötigt und gute Bilder werden angeführt. Die Berechnungsabläufe und die Theorie sind jedoch vereinfachter ausgeführt.

2.2.4.1.3 Köhler/Rögnitz

Es gibt kein Tabellenbuch, die Tafeln, welche mit Tabellen aus Tabellenbüchern vergleichbar sind, werden am Ende des Buches angegeben. Bilder und Formeln werden nicht farblich herausgehoben. Der Ablauf ist stark vereinfacht, jedoch sind dadurch schnelle Berechnungen möglich.

2.2.4.1.4 Niemann

Es gibt kein Tabellenbuch, die Tafeln müssen teilweise in anderen Kapiteln gesucht werden. Die Berechnung ist sehr detailliert mit vielen Formeln und Faktoren für besondere Fälle. Die Theorie wird sehr ausführlich von allgemein bis spezifisch beschrieben. Zusätzlich werden viele Bilder angeführt. Der Berechnungsablauf ist sehr unübersichtlich, die Formeln werden nicht in genauer Reihenfolge angeführt und es werden nicht alle Variablen beschrieben. Außerdem führt das Buch veraltete Stahlbezeichnungen.

2.2.4.2 Passfederverbindung

Als besonders wichtiges Verbindungselement von Wellen und Naben gilt die Passfederverbindung. Sie ist relativ einfach durchführbar, günstig, vielseitig einsetzbar und meist einfach demontierbar.

Die Passfederberechnung ist genormt nach DIN 6892. Dabei gibt es 3 unterschiedliche Methoden.

Methode A	Methode B	Methode C
erfordert experimentellen Festigkeitsnachweis unter Praxisbedingungen	berücksichtigt näherungsweise die Kraftverteilung	gleichmäßig verteilte Flächenbelastung wird angenommen
und/oder umfassende Beanspruchungsanalyse (rechnerisch) aus Welle, Passfeder und Nabe	Kraftein- und Kraftableitungsverhältnisse werden mit einem Lastverteilungsfaktor berücksichtigt	Fasen und Radien vernachlässigt
	Fasen, Radien, vorhandene Aushebeschrägen werden berücksichtigt	überschlägige Berechnung
	bei wechselseitiger Belastung anwendbar (Einschränkungen durch Lebensdauerbegrenzungen bei Rutschen zwischen Welle und Nabe → Passfeder schlägt aus)	

Tabelle 4: Methoden der Passfederberechnung (eigene Darstellung)

Verglichen wird die Methode C, da diese in der Mehrzahl der Bücher behandelt wird.

2.2.4.2.1 Roloff/Matek

Berechnungsmethode C

Berechnungsmethode B

Vorteile:

- Alle 3 Berechnungsmethoden werden angeführt.
- Die verfügbaren Passfederlängen werden in einer Tabelle angegeben.
- Die richtige Bezeichnung von Passfedern wird erklärt.

Nachteile:

- Passfedern nach der Norm DIN 6885 sind nur in der hohen Form auslesbar.

S.419-424

2.2.4.2.2 Decker

Berechnungsmethode C

Begründung aus dem Buch zur fehlenden Berechnungsmethode B:

„Wegen ihres Berechnungsumfangs kann diese Methode hier nicht ausführlich behandelt werden.“ (Decker & Kabus, Maschinenelemente Funktion, Gestaltung und Berechnung, 2014, S. 264)

Vorteile:

- Die Streckgrenzen der einzelnen Komponenten müssen nicht auf die Bauteilgröße umgerechnet werden. Für die zulässige Flächenpressung wird ein Grundwert aus einer Tabelle ausgelesen, welcher mit einem Faktor multipliziert wird, der von der Beanspruchung abhängt. Dadurch werden Stöße berücksichtigt.
- Es wird also kein Anwendungsfaktor K_A^5 benötigt.

Nachteile:

- Man kommt auf eine sehr geringe zulässige Flächenpressung im Vergleich zur Berechnung nach *Roloff/Matek*.
- Wegen der sehr niedrigen zulässigen Flächenpressung wird eine, im Vergleich, sehr lange Passfeder benötigt.

S.262-265

2.2.4.2.3 Köhler/Rögnitz

Berechnungsmethode C

Vorteile:

- Es wird darüber berichtet, dass Passfedern im Allgemeinen nicht berechnet werden müssen, wenn genormte Wellenenden nach der Norm DIN 748 verwendet werden.
- Die Streckgrenzen der einzelnen Komponenten müssen, wie nach *Decker*, nicht auf die Bauteilgröße umgerechnet werden. Die zulässige Flächenpressung wird direkt aus einer Tafel ausgelesen.
- Die zulässige Flächenpressung wird abhängig vom Material und von der Stärke der Stöße ausgewählt. Dadurch wird, wie nach *Decker*, kein K_A -Faktor benötigt.

⁵ Faktor aus *Roloff/Matek*, der die schwer erfassbaren Stöße berücksichtigt.

Nachteile:

- Der Bereich zum Auswählen der zulässigen Flächenpressung hat einen, im Vergleich, niedrigen Maximalwert. (ähnlich der Berechnung nach *Decker*)
- →Daher wird eine sehr lange Passfeder benötigt.
- Die Passfederabmessungen sind nur in einem gewissen Bereich in einer Tabelle vorhanden.

S.184-186

2.2.4.2.4 Niemann

eigene Berechnungsmethode

Vorteile:

- Es gibt Hinweise auf die Fertigung der Passfedernuten und wo die einzelnen Formen der Passfedern nach der Norm DIN 6885 verwendet werden.
- Es wird angegeben, wann wie viele Passfedern bei gewissen Werkstoffen sinnvoll sind.

Nachteile:

- Es kann bei der Berechnung des Ersatzdurchmessers einer abgesetzten Nabe zu Unklarheiten kommen. Die Grafik, welche erklärt welche Durchmesser und Breiten für die Berechnung benötigt werden, lässt Fragen aufkommen.
- Ein Faktor (Längenfaktor, siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** muss interpoliert werden, wozu man den Naben-Ersatzdurchmesser (eigene Formel benötigt), den Wellendurchmesser und die tragende Länge der Passfeder benötigt. Es muss daher unter Umständen mehrmals gerechnet werden.

S.834-837 Formel: S.820

Berechnungsbeispiel mit den Varianten nach *Roloff/Matek* und nach *Niemann* berechnet: (Methode B)

$T := 13.5 \text{ N} \cdot \text{m}$ Berechnungsvergleich Niemann-Roloff/Matek, $n=2$,
 $d := 35 \text{ mm}$ mittige Lastein-/ableitung, plausible Werte angenommen
 $h := 8 \text{ mm}$ DIN 6885A10x8x32 C45
 $l := 32 \text{ mm}$ nach Niemann: nach Roloff/Matek Methode B:
 $b := 10 \text{ mm}$ $K_\lambda := 2 \cdot 1.05 - 1 = 1.1$ Roloff/Matek TB 12-2 c)
 $l_{tr} := l - b = 22 \text{ mm}$ $\alpha_w := \arccos(1) = 0$ $K_R := 1$ Spiel/Übergangspassung
 $\frac{l_{tr}}{d} = 0.629$ $r_w := \frac{d}{2} \cdot \cos(\alpha_w) = 17.5 \text{ mm}$ $r := 0.6 \text{ mm}$ Roloff/Matek TB 12-2 a)
 $\cos(\alpha_w) := 1$ $s := 0.2 \text{ mm}$
 $z := 0.75 \cdot 2 = 1.5$ $h_{tr} := 0.47 \cdot h - r - s = 2.96 \text{ mm}$
 $t_1 := 5 \text{ mm}$ $n := 2$
 $h_w := h - t_1 = 3 \text{ mm}$ $\varphi := 0.75$
 $k_{\varphi\beta} := 1.1$
 $D_2 := 60 \text{ mm}$
 $D_1 := 50 \text{ mm}$
 $c := l_{tr} = 22 \text{ mm}$

nach Niemann Gl.18.47:
 $k_1 := 1.03$ Aus Abb. 18.33. Niemann Maschinenelemente ausgelesen

$$D := \frac{D_2}{\sqrt[4]{\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4 \cdot \left(1 - \frac{c}{l_{tr}}\right) + \frac{c}{l_{tr}}}} = 60 \text{ mm} \quad \frac{D}{d} = 1.714$$

$$p := \frac{T}{r_w \cdot z} \cdot \frac{\cos(\alpha_w)}{l_{tr} \cdot h_w} \cdot k_{\varphi\beta} \cdot k_1 = 8.829 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

nach Roloff/Matek Gl.12.2a):

$$p_{max} := \frac{2 \cdot T \cdot K_\lambda \cdot K_R}{d \cdot h_{tr} \cdot l_{tr} \cdot n \cdot \varphi} = 8.687 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Abbildung 3: Berechnungsvergleich Passfeder, nach Roloff/Matek und Niemann (eigene Darstellung)

Die Diagramme zum Auslesen:

$$D = \frac{D_2}{\sqrt[4]{\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4 \cdot \left(1 - \frac{c}{l_{tr}}\right) + \frac{c}{l_{tr}}}}, \quad (18.48)$$

Maße s. Abb. 18.47.

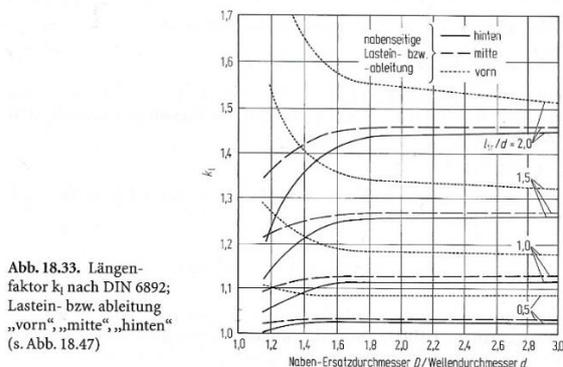


Abbildung 4: Längenfaktor k_1 (DIN 6892) (Niemann, Winter, & Höhn, Maschinenelemente Band 1: Konstruktion und Berechnung von Verbindungen, Lagern, Wellen, 2005, S. 821)

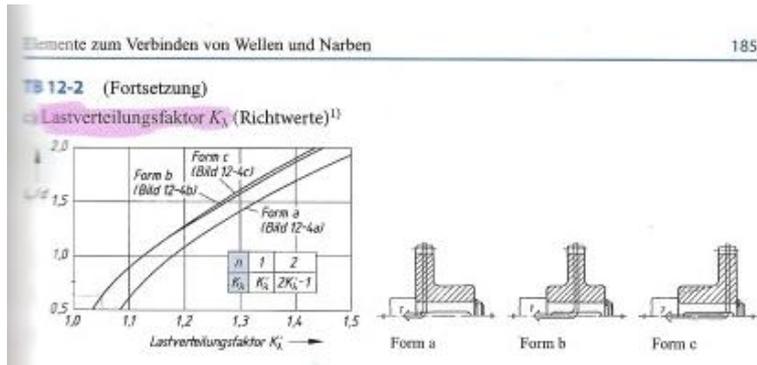


Abbildung 5: Lastverteilungsfaktor K_L (Wittel, Jannasch, Voßiek, & Spura, Roloff/Matek Maschinenelemente Tabellenbuch, 2019, S. 185)

Fazit:

Roloff/Matek gibt den Berechnungsvorgang am übersichtlichsten an, siehe auch Berechnungsbeispiel. Außerdem werden die Berechnungsmethode B und C angeführt. Daher wird unsere Berechnungsvorschrift nach Roloff/Matek durchgeführt. Der Ablauf nach Decker wäre bersichtsmig noch besser und schneller durchführbar, jedoch fehlt die 2. Berechnungsmethode und die zulässige Flächenpressung (aus einer Tabelle) ist im Vergleich sehr gering, was zu einer sehr langen Passfeder führt. Bei einer zu langen Passfederlnge kann also, aufgrund der eingeschränkten Angaben in der Tabelle, nicht auf Sthle mit höheren Festigkeitswerten zurückgegriffen werden. Ähnliches gilt für die Berechnung nach Köhler/Rognitz.

2.2.4.3 Lagerlebensdauerberechnung

Sie wird zum Auslegen von Lagern verwendet.

Die Lagerlebensdauergleichung wurde durch Versuche entwickelt und in der Norm DIN ISO 281 festgelegt.

2.2.4.3.1 Roloff/Matek

Nominelle Lebensdauer:

Bei der Berechnung nach Roloff/Matek wird die Lebensdauergleichung nach der Norm DIN ISO 281 für die nominelle Lebensdauer umgeformt und es werden für die 10^6 Umdrehungen 500h und $33,333 \text{ min}^{-1}$ in Stunden eingesetzt. ($500 \cdot 33,333 \cdot 60 = 10^6$) Durch diesen Vorgang erhält man 2 Faktoren, den Drehzahlfaktor und den Lebensdauerfaktor. Sie sind aus Tabellen ablesbar und vereinfachen den Nachweis für eine ausreichende Lebensdauer sehr.

Erweiterte modifizierte Lebensdauer:

Roloff/Matek gibt die erforderlichen Berechnungsschritte für die modifizierte Lebensdauerberechnung an. Die Anzahl der Stunden beziehungsweise Umdrehungen, die das Lager hält, ist im realen Fall unter idealen Bedingungen meist viel höher als die, die durch die nominelle Lebensdauergleichung nach der Norm DIN ISO 281 ermittelt wurde.

Vorteile:

- Eine Formel für die Erstausslegung ist vorhanden und die Theorie wird im Allgemeinen sehr gut erklärt.
- Die Umformung auf Lebensdauer- und Drehzahlfaktor erleichtert den Vorgang.
- Die erweiterte modifizierte Lebensdauer wird angeführt.
- Anschlussmaße (Rundungen, Schulterhöhen) werden angegeben.

Unter einer eigenen Überschrift findet man eine Möglichkeit zur Berechnung der Höchstdrehzahl. Werte dafür können aus dem Wälzlagerkatalog entnommen werden.

S.559-567

2.2.4.3.2 Decker*Vorteile:*

- Es wird eine etwas andere Formel für die Grenzdrehzahl angegeben. Sie ist eventuell hilfreich, wenn keine thermischen Bezugsdrehzahlen⁶ (welche bei der Berechnung nach *Roloff/Matek* benötigt werden) aus Wälzlagerkatalogen vorhanden sind. Im *Decker* sind auch Werte für die Variablen angeführt, es wird also in bestimmten Fällen kein Wälzlagerkatalog benötigt.

Nachteile:

- Es erfolgt keine Umformung auf Lebensdauer- und Drehzahlfaktor.

S.474-483

⁶ Drehzahl, bei der sich eine Lagertemperatur von 70°C einstellt.

2.2.4.3.3 Köhler-Rögnitz

Vorteile:

- In diesem Buch kann die Lebensdauer wie bei der Berechnung nach *Roloff/Matek* durch Lebensdauer- und Drehzahlfaktor berechnet werden. Die Diagramme im Tafelbereich des Buches unterscheiden sich jedoch von denen im *Roloff/Matek* Tabellenbuch. Sie sind hier zeitleistenartig gegeben.
- *Köhler-Rögnitz* hat als einziges dieser 4 Bücher den Verschleißfaktor und die Verschleißfaktorgleichung nach Eschmann angeführt. Der Faktor wurde zur Berücksichtigung von größer werdenden Lagerspielen eingeführt. Dieses wird in der Lebensdauer Gleichung nicht berücksichtigt. Bei Erreichen eines gewissen Wertes, welcher im Diagramm mit den üblichen Lebensdauerstunden aufgetragen ist, wird das Lager üblicherweise ausgewechselt. Der Faktor ist von der Art der Anwendung abhängig.
- Werte für die Oberflächenrauheit von Passflächen werden angegeben.

Nachteile:

- Bei der Berechnung nach dem Referenzbuch wird zusätzlich eine Formel angegeben, um Fehler beim Herauslesen von Lebensdauer- und Drehzahlfaktor zu vermeiden. Sie müssen also nicht aus Diagrammen ausgelesen werden, sondern können auch berechnet werden. *Köhler Rögnitz* bietet nur die Möglichkeit des Herauslesens.
- Drehzahl- und Lebensdauerfaktor werden nur für Kugellager und nicht für Rollenlager angeführt.

S.90-96

2.2.4.3.4 Niemann

Das Buch beginnt mit einer Übersicht über die 3 Berechnungsmethoden nach DIN ISO 281. Angeführt werden die nominelle Lebensdauer, die angepasste nominelle Lebensdauer und die modifizierte Lebensdauer.

Vorteile:

- Die Berechnung und die Theorie werden in diesem Buch am besten erklärt, jedoch ist es aufwendig, die Theorie so weit durchzuarbeiten, dass man mit der Berechnung starten kann.
- Maßnahmen um die Grenzdrehzahl⁷ ungefähr um die Hälfte hinaufzusetzen sind gegeben.
- Es wird auf die 3 Berechnungsmethoden nach der Norm DIN ISO 281 eingegangen.
- Kosten von Lagern werden behandelt.
- Anschlussmaße (Rundungen, Schulterhöhen) werden angegeben.

Nachteile:

- Es erfolgt keine Umformung auf Drehzahl- und Lebensdauerfaktor.

S.596-630

Fazit:

Trotz der wesentlich genaueren Beschreibung im *Niemann*, oder genau deswegen, wird die Berechnung nach *Roloff/Matek* bevorzugt. Es sollen erst die wesentlichen Dinge beigebracht werden. Dazu müssen die Berechnungsschritte klar dargestellt sein. Es bringt wenig, wenn die zu Lehrenden vor Unklarheiten nicht mehr wissen, wie sie selbstständig weiterarbeiten sollen. Denn genau das ist auch ein Teil dieser Diplomarbeit. Sie soll keine Angst vor komplexen Berechnungsvorgängen machen, sondern zeigen, dass der Aufwand überschaubar ist, um die Anwender zu motivieren. Wenn man die angepasste nominelle oder die modifizierte Lebensdauerberechnung genauer benötigt, sollte man im Buch *Niemann* nachschlagen. Im *Niemann* muss erst sehr viel Text gelesen werden, um die Vorgänge der Berechnung verstehen und nachvollziehen zu können. Nach *Roloff/Matek* ist die Berechnung eher checklistenartig und übersichtlich aufgebaut. Der Berechnungsablauf nach *Köhler/Rögnitz* wird nicht gewählt, da die Formeln für Lebensdauer- und Drehzahlfaktor, welche im *Roloff/Matek* angeführt werden, für die Implementierung in Computerberechnungssheets besser geeignet sind als Grafiken. Der Ablauf nach *Decker* wird nicht gewählt, weil hier keine Vereinfachung mithilfe der Faktoren stattfindet.

⁷ Drehzahl, die nicht überschritten werden darf, um die erwartete Gebrauchsdauer zu erreichen.

2.2.4.4 Einführung Festigkeitsberechnung und statische Festigkeit Welle

Um bleibende/plastische Verformungen, Anriss oder Gewaltbruch nicht auftreten zu lassen wird ein statischer Festigkeitsnachweis durchgeführt.

2.2.4.4.1 Roloff/Matek

Einführung:

Sehr gute allgemeine Einführung in das Thema. Das Spannungs-Dehnungsdiagramm für unterschiedliche Kerben wird angegeben. Die Beanspruchungsarten und die Bildung von zusammengesetzten Spannungen werden mit Diagrammen **am Anfang** des Kapitels dargestellt und nicht wirklich mit Text beschrieben, dies passiert danach. 3 Festigkeitshypothesen⁸ werden angeführt, wobei die Berechnung der Vergleichsspannung⁹ nach der Schubspannungshypothese¹⁰ in diesem Buch nicht angeführt wird.

Es ist eine Mindmap-artige Grafik zur Bildung von zusammengesetzten Spannungen vorhanden. In Grafiken zur Beanspruchungsart wird auf Kappa¹¹ eingegangen. Damit sind die Grenzbereiche zwischen wechselnd¹² und schwellend¹³ gut dargestellt. Einige kleine Formeln, welche in anderen Büchern oft nur im Text vorkommen, werden im *Roloff/Matek* oft eigen in hinterlegten Feldern dargestellt (z.B. für das äquivalente Drehmoment). Es wird auf die Belastungsspitzen eingegangen, die der Anwendungsfaktor K_A nicht erfasst, und dass ein statischer Festigkeitsnachweis zur Berücksichtigung dieser notwendig ist. Die statischen und dynamischen Festigkeitswerte werden ausführlich beschrieben. Dabei wird auf verschiedene Dauerfestigkeitsschaubilder, nach den Erfindern beziehungsweise Entwicklern *Haigh*, *Moore-Kommers-Jasper* und *Goodman*, eingegangen.

⁸ Festigkeitshypothesen benötigt man dann, wenn eine mehrachsige Beanspruchung (zum Beispiel Normal- und Tangentialspannung kombiniert) vorliegt und man diese in eine vergleichbare einachsige Spannung umrechnen möchte. Meist sind nur für einachsige Beanspruchungen Festigkeitswerte verfügbar.

⁹ Die mehrachsige Spannung umgerechnet auf eine einachsige. Ergebnis einer Festigkeitshypothese.

¹⁰ Eine der Festigkeitshypothesen.

¹¹ Spannungsverhältnis Oberspannung (Maximum) zu Unterspannung (Minimum).

¹² Beanspruchung, die sich ändert, bei der das Vorzeichen wechselt.

¹³ Beanspruchung, die sich ändert, jedoch ohne Vorzeichenwechsel.

Statische Bauteilfestigkeit:*Vorteile:*

- Die Festigkeitswerte werden, eine Überschrift davor, gut beschrieben.
- Am Ende werden noch Hinweise zur Berechnung von Torsion-, Zug-, Druck-, und Schubbelastung angegeben.
- Es wird ebenso auf spröde Materialien, insbesondere Gusseisen, eingegangen.
- Der vereinfachte Nachweis nach der Norm DIN 743 wird angegeben, welcher in den meisten Fällen ausreichend ist.
- Im *Roloff/Matek* wird außerdem ein noch vereinfachter statischer Festigkeitsnachweis gegen Fließen angeführt. Dieser ist übersichtlich checklistenartig aufgebaut und gut verständlich. Man kann also nach dieser Checkliste vorgehen und, wenn es sich festigkeitsmäßig knapp nicht ausgeht, immer noch mit der genaueren Methode rechnen. Oder wenn es sich mit ausreichender Sicherheit ausgeht, um Material einzusparen.
- Es wird eine überschlägige Durchmesserberechnung angeführt, welche bei der Konstruktion hilfreich ist, um schnell auf einen ersten Durchmesser zu kommen, ohne ihn zuerst schätzen zu müssen. Dieser kann somit als erster Richtwert dienen.
- Die Berechnung zur Nutzung der Tragfähigkeitsreserven¹⁴ wird angegeben.
- Für die Berechnung der statischen Stützzahl bei einem Nachweis mit Nennspannungen wird R_{pmax} angeführt, ein Wert, der allgemein für Stahl gilt.

Nachteile:

- Die Vergleichsspannung nach der Schubspannungshypothese wird nicht angeführt.

S.43-59

¹⁴ Bei zähen Werkstoffen dürfen die Spannungsspitzen die Fließgrenze des Materials überschreiten. Es kommt zu einer plastischen Verformung in diesem Bereich, jedoch ohne Zerstörung des Werkstücks.

2.2.4.4.2 Decker

Einführung:

Die Kraftwirkungen bei den Beanspruchungsarten werden gut dargestellt und sind immer gegliedert in Kapiteln, jeweils mit Text und Bild dazu. Alles ist sehr ausführlich erklärt, um ein gewisses Grundverständnis über die Theorie zu schaffen.

Es werden Skizzen für zusammengesetzte Beanspruchungsarten angegeben. Die Schubspannungshypothese zur Vergleichsspannungsberechnung wird angegeben. Die Vergleichsspannungsberechnungshypothesen werden viel übersichtlicher tabellenartig aufgebaut.

Werte für das Anstrengungsverhältnis¹⁵ sind in einer Tabelle angegeben, im *Roloff/Matek* nur teilweise und nicht so genau.

Es wird als Hinweis darauf aufmerksam gemacht, dass die Berechnung auf ein älteres Verfahren beruht und nur noch für überschlägige Berechnungen verwendet werden sollte. Es wird auf ein aktuelleres Verfahren verwiesen, wenn genauere Berechnungen erforderlich sind.

Das Dauerfestigkeitsschaubild nach dem Erfinder beziehungsweise Entwickler *Smith/Pohl* wird genauer beschrieben, dafür werden die anderen (*Roloff/Matek*) nicht angeführt.

Statische Bauteilfestigkeit: (in diesem Buch ruhende Beanspruchung)

Die Berechnungsmethode unterscheidet sich sehr von der Referenzmethode. Die Beiden sind daher nicht wirklich gut vergleichbar.

Vorteile:

- Die Grundlagen werden gut erklärt, vor allem in Bezug auf Spannungen (Normalspannung, Schubspannungen) und Beanspruchungsarten.
- Die Berechnung nach FKM-Richtlinie 183 wird einige Seiten später erklärt.
- Es wird der Auslastungsgrad nach der FKM-Richtlinie angegeben.
- Die Berechnung ist viel gröber als nach *Roloff/Matek*, da Sicherheiten aus einer Tabelle mit Spielraum ausgelesen werden. Wenn jedoch eine erforderliche Sicherheit gegeben ist, ist die Berechnung ohne großen Zeitaufwand durchführbar.
- Die Streckgrenze muss nicht auf die Bauteilgröße umgerechnet werden. Sie wird mithilfe von Durchmesserbereichen aus Tabellen entnommen.

¹⁵ Mit diesem wird für einfachere Berechnungen die Torsionsbeanspruchung auf eine Biegebeanspruchung umgerechnet, wenn diese in unterschiedlichen Fällen vorliegen (statisch, dynamisch schwellend, dynamisch wechselnd). Es fließt in die Vergleichsspannung ein.

Nachteile:

- *Decker* geht sehr allgemein an das Thema Festigkeit heran. Dabei verliert man leider schnell die Übersicht.
- Einige Formeln werden nicht klar dargestellt, sie müssen mehr oder weniger aus dem Text herausgelesen werden.

Ein eigenes Kapitel handelt von der Berechnung, welche nach FKM-Richtlinie 183 erfolgt. Laut Buch wurde ein eigenes Kapitel gewählt, da das Verständnis dieser nicht zwingend notwendig ist, um das Buch selbst zu verstehen. Die Richtlinie wird jedoch nicht vollständig angeführt. Es wird auf ein anderes Buch verwiesen, welches von einem Ersteller der FKM-Richtlinie verfasst wurde. Der Aufwand der Berechnung nach der Richtlinie ist so umfangreich, dass Computerprogramme zu empfehlen sind. Außerdem werden Punkte angeführt, wann diese aufwendige Berechnung überhaupt sinngemäß ist.

Vorteile:

- Die Unterschiede zwischen Dauerfestigkeit¹⁶, Zeitfestigkeit¹⁷ und Maximalspannungsnachweiß¹⁸ werden erklärt. Generell die Richtlinie wird erklärt.
- Die Möglichkeiten der Berechnung, auch für geschweißte Bauteile, sind nach *Decker* beziehungsweise FKM-Richtlinie vielfältiger.

Nachteile:

- Grundsätzlich sind sich die Berechnung nach FKM und die Berechnung nach *Roloff/Matek* sehr ähnlich. Jedoch ist der Ablauf nach *Roloff/Matek* sehr viel übersichtlicher aufgebaut und konzentriert sich auf die wichtigsten Aspekte. Formeln, wie zum Beispiel für die plastische Stützzahl, werden vereinfacht dargestellt, um die Berechnung zeitsparend zu gestalten. So wird für die ertragbare Dehnung eines gekerbten Bauteils eine Gleichung angenommen, welche die benötigte Formel durch Herauskürzen übersichtlicher macht.

¹⁶ Ein Bauteil gilt als dauerhaft, wenn es eine theoretisch unbegrenzte Anzahl an Lastwechseln (Schwingspielen) ohne Versagen ertragen kann. Sprich die Spannung, die ein Bauteil beliebig oft ertragen kann.

¹⁷ Ein Bauteil gilt als zeitfest, wenn es eine bestimmte, endliche Anzahl an Lastwechseln ertragen kann. Diese Anzahl liegt unterhalb der Anzahl an Lastwechseln der Dauerfestigkeit. Das Bauteil hat also eine begrenzte Lebensdauer. Sprich die Spannung, die ein Bauteil eine gewisse, endliche Anzahl von Lastwechseln ertragen kann.

¹⁸ Beim Maximalspannungsnachweis wird überprüft, ob die auftretende Spannung unter der maximal ertragbaren Spannung liegt. Diese ist zum Beispiel die Streckgrenze. Wenn sie einmal überschritten wird, kommt es zu plastischen Verformungen.

Die Berechnung nach FKM-Richtlinie ist sehr aufwendig, welcher Meinung die Autoren ebenfalls sind. Außerdem kann es, vor allem in der Schule, wo es um eine Erstausslegung geht, schnell zu erforderlichen Neuberechnungen kommen. Das würde den Aufwandsrahmen sprengen.

Die Berechnung nach der FKM-Richtlinie ist dann sinnvoll, wenn es um höchstbeanspruchte Bauteile aus höchstbeanspruchbaren Materialien geht.

S. 23-36 (nach FKM-Richtlinie: S.37-55)

2.2.4.4.3 Köhler/Rögnitz

Einführung:

Der *Mohr'sche* Spannungskreis wird gut erklärt. Die Beanspruchungsarten werden gut mit Zeichnungen dargestellt und in Textform erklärt.

Statischer Festigkeitsnachweis:

Die Berechnungsmethode unterscheidet sich sehr von der Referenzmethode. Die Beiden sind daher nicht wirklich gut vergleichbar.

Vorteile:

- Die Werkstofffestigkeitswerte müssen nicht umgerechnet werden, sie werden aus Tabellen mit Durchmesserbereichen ausgelesen.

Nachteile:

- *Köhler/Rögnitz* arbeitet mit Arbeitsblättern, die Tafeln enthalten, die wiederum so ähnlich aufgebaut sind wie Tabellenbücher. Wie im *Niemann* muss man, vor allem bei diesem Thema, leider immer die Seiten wechseln, da kein Tabellenbuch, sondern diese Tafeln am Ende des Buches angeführt werden.
- Es wird keine Formel für eine Gesamtsicherheit angegeben, was den Vergleich erschwert.

Kapitel 2

2.2.4.4.4 Niemann

Einführung:

Die Möglichkeiten der Schadensarten werden beschrieben. Schritte der Berechnung werden sehr ausführlich wie in einer Checkliste angegeben. Die statischen Festigkeitswerte werden gut beschrieben und die Erklärungen der Einflussfaktoren sind sehr übersichtlich.

Statische Bauteilfestigkeit:

Vorteile:

- Die Berechnung wird übersichtlich für 4 Belastungsarten angegeben.
- Die Berechnung der Einzelbeanspruchungen und der zusammengesetzten Beanspruchung ist klar angegeben.
- Ein gutes Beispiel wird angeführt.
- Die Berechnung zur Nutzung der Tragfähigkeitsreserven wird angegeben.

Nachteile:

- Der Vorgang nimmt schnell ein großes Ausmaß an. Allein der Technologische Größeneinflussfaktor¹⁹ wird, anders als nach *Roloff/Matek*, wo er aus einem Diagramm ausgelesen wird, nach *Niemann* durch eine logarithmische Gleichung bestimmt. Die Bestimmung der Festigkeitswerte für den Werkstoff im Bauteil ist nach *Roloff/Matek* somit weitaus einfacher geregelt. Hier gibt es nur den Technologischen Größeneinflussfaktor.
- Im *Niemann* wird sehr viel mit Verweisen gearbeitet, worunter leider sehr die Übersichtlichkeit leidet. Es ist bestimmt einfacher mit 2 Büchern, wie dem *Roloff/Matek* und dem *Roloff/Matek* Tabellenbuch, zu arbeiten als mit einem, wo man ständig die Seiten wechseln muss, um bestimmte Dinge zu finden.
- Das Anstrengungsverhältnis wird nicht angegeben.

ab S.92

¹⁹ Wird verwendet, um Festigkeitswerte für Normabmessungen auf Bauteilabmessungen umzurechnen.

Fazit:

Köhler/Rögnitz beinhaltet die alten Stahlbezeichnungen und *Decker* geht zu allgemein an das Thema heran, worunter die Übersichtlichkeit sehr leidet. Einige Formeln müssen aus dem Text herausgelesen werden. Beide führen einen anderen, nicht vergleichbaren Berechnungsablauf. Aufgrund dieser Gründe ist schnell klar, dass sich die Auswahl auf die Berechnung nach *Niemann* oder *Roloff/Matek* begrenzt. Gewählt wird letzteres, da die Umrechnung auf die Bauteilgröße schon von der Passfederberechnung bekannt ist und der Ablauf nach *Niemann* noch einmal ein deutliches Stück aufwendiger ist.

2.2.4.5 Ermüdungsfestigkeitsnachweis auf Dauerfestigkeit

Um sicherstellen zu können, dass ein Bauteil eine gewisse Lebensdauer erreicht, wird ein Ermüdungsfestigkeitsnachweis durchgeführt. Wird auf Dauerfestigkeit ausgelegt, hält das Bauteil theoretisch unendlich viele Lastspiele aus.

2.2.4.5.1 Roloff/Matek*Vorteile:*

- Eine sehr übersichtliche Checkliste zur Berechnung wird angegeben, jedoch nur für Biegung und Torsion.
- Sehr vieles wird mithilfe von Grafiken erklärt.
- Der Größeneinfluss ist im Vergleich einfach gestaltet.
- Zusätzlich wird eine Checkliste für einen vereinfachten statischen und dynamischen Festigkeitsnachweis auf Seite 402 angeführt.
- Es wird auf den Vorgang bei mehreren Kerben, also mehreren Kerbwirkungszahlen²⁰ eingegangen.

Nachteile:

- Teilweise ist die Berechnung sehr komplex.
- Die Erklärung dazu, was Mittelspannungen²¹ und was Ausschlagsspannungen²² sind, ist nicht ausführlich gegeben.

²⁰ Die Kerbwirkungszahl beschreibt die Verstärkung der Spannung durch eine Kerbe im Vergleich zu keiner Kerbe.

²¹ Spannungen, die im Mittel über z.B. ein Lastspiel wirken.

²² Spannungen, die durch z.B. Richtungswechsel entstehen.

2.2.4.5.2 Decker

Vorteile:

- Das Kerb- und das Nennspannungskonzept²³ werden angegeben.
- Die Konzepte werden erklärt.
- Alles wird auf das wesentliche beschränkt.
- Oft werden Diagramme und Gleichungen für eine Größe angegeben. Dies erleichtert das Implementieren in Programme.
- Es wird eine Checkliste in Textform angeführt.

Nachteile:

- Es wird nur der erste Fall der Norm betrachtet, (ähnlich Überlastungsfall²⁴ 1). Daher ist die Berechnung nicht vergleichbar mit der Berechnung nach Überlastungsfall 2, welcher bei Getriebewellen Anwendung findet.
- Es können nur Formzahlen²⁵ für Wellenabsätze berechnet werden.
- Der Vorgang zur Berechnung der Kerbwirkungszahl bei mehreren Kerben in einer Querschnittsebene fehlt.

2.2.4.5.3 Köhler/Rögnitz

Vorteile:

- Kerb- und Nennspannungskonzept werden angegeben.
- Die zeitsparendste Berechnungsart ist die nach *Köhler/Rögnitz*.
- Die Beanspruchungsarten werden sehr gut erklärt.

Nachteile:

- Teilweise gibt es unterschiedliche Werte in den Tabellen des ersten und zweiten Teils des Buchbandes. Dies kann ebenfalls zu Verwirrung führen.
- Erläuterungen zur Ausschlagfestigkeit²⁶ σ_{bA} des glatten Probestabs fehlen.

2.2.4.5.4 Niemann

Vorteile:

- Ein sehr gutes Beispiel mit ähnlicher Anwendung wird angeführt.

²³ Kerb- und Nennspannungskonzept sind beides Konzepte zur Berechnung der Ermüdungsfestigkeit.

²⁴ In der Norm gibt es verschiedene Fälle, nach denen berechnet wird.

²⁵ Formzahlen berücksichtigen die Kerbwirkung des Bauteils, also wie sich die Kerbe auswirkt.

²⁶ Fähigkeit, Ausschlagspannungen zu widerstehen.

Nachteile:

- Das Kapitel des Buches ist eher unübersichtlich aufgebaut.
- Die Berechnung nach *Niemann* ist klar am aufwendigsten.
- Die Wechselfestigkeit Zug/Druck der Normprobe wird nicht in Tabellen angeführt, sondern muss berechnet werden.

Fazit:

Da im *Decker* nicht der passende Fall der Norm enthalten ist, ist klar, dass die Wahl zwischen *Niemann*, *Roloff/Matek* und *Köhler/Rögnitz* erfolgt. Letzteres führt die alten Stahlbezeichnungen und ist daher nicht ideal. Der Ablauf nach *Niemann* ist deutlich am aufwendigsten, daher wird die Berechnung nach *Roloff/Matek* ausgewählt. Zusätzlich ist die grundsätzliche Bezeichnungsform unter anderem schon von der Passfederberechnung bekannt, was bestimmt keinen Nachteil darstellt.

2.2.4.6 Gesamtüberdeckung, Zahnfußtragfähigkeit und Grübchentragfähigkeit für ein Getriebe**2.2.4.6.1 Roloff/Matek***Vorteile:*

- Formeln werden checklistenartig angegeben.
- Bunte, verständliche Bilder erklären den Berechnungsablauf.
- Viele Faktoren werden berücksichtigt.

Nachteile:

- Lange und aufwendige Berechnung.
- Für große Formeln müssen manchmal zuerst kleinere Berechnungen durchgeführt werden, die aus Formeln in Texten herauszulesen sind.

S.804 & 805, 823 fortfolgend

2.2.4.6.2 Decker*Vorteile:*

- Es wird eine Beispielrechnung zu jedem Kapitel beigelegt.
- Die Berechnung ist schneller durchführbar, obwohl die gleichen Faktoren berücksichtigt werden. Das Ergebnis ist sehr ähnlich.

Nachteile:

- Die Berechnung ist ungenauer.
- Es gibt weniger Grenzbedingungen und Ausnahmen.

S. 589 fortfolgend, 621 fortfolgend

2.2.4.6.3 Köhler/Rögnitz

Vorteile:

- Der Berechnungsablauf ist sehr schnell durchführbar.

Nachteile:

- Die Berechnung ist ungenau. (eher Überschlagsrechnung)
- Spezialfälle werden nicht berücksichtigt.

S. 316, 318 fortfolgend

2.2.4.6.4 Niemann

Vorteile:

- Die Berechnung ist sehr detailliert.
- Viele Bilder erklären die Berechnung.
- Viele Formeln und Faktoren werden angegeben, die besondere Fälle berücksichtigen.

Nachteile:

- Die Kapitel sind sehr unübersichtlich.
- Es werden nicht immer alle Variablen in einer Formel erklärt. Manche muss man aus Texten herauslesen, andere werden einige Seiten davor oder danach angegeben.
- Es ist sehr mühsam Verweise zu finden, da die Tafeln nicht gesammelt sind.

S. 63, 102 fortfolgend

Zusammengefasst kann man sagen, dass die Rechnung nach *Roloff/Matek* gut, verständlich und genau ist. Die nach *Köhler/Rögnitz* ist kurz und einfach, aber nicht sehr genau. Der Ablauf nach *Niemann* im Gegenzug ist sehr genau, dafür nicht sehr übersichtlich. Das Ergebnis der Analyse hat ergeben, dass *Decker* am besten für den Unterricht geeignet ist. Dieses Buch ist sehr ähnlich dem *Roloff/Matek*, doch noch übersichtlicher und weniger komplex, was aber für den Schulunterricht völlig ausreicht. Außerdem gibt es schönere Bilder und man ist um einiges schneller bei der Berechnung.

2.2.5 Berechnungen des Beispielgetriebes

Um den zu Lehrenden eine Referenz zu geben, wird ein Beispielgetriebe konstruiert und berechnet.

2.2.5.1 Berechnen der Zahnkräfte

Axialkräfte F_a , Tangentialkräfte F_t und Radialkräfte F_r wurden zuvor aus dem Antriebs- und Abtriebsmoment, den Teilkreisdurchmessern, dem Eingriffswinkel und dem Schrägungswinkel der Zahnräder berechnet.

2.2.5.2 Erstellen der Programme für die Berechnung der Lagerkräfte

Mithilfe der Gleichgewichtsbedingung Summe der Kräfte und Summe der Momente um einen Punkt sind Null werden die Lagerkräfte ermittelt. Dafür werden Skizzen erstellt, die die Lage der Kräfte grafisch darstellen. Durch das Eingeben der benötigten Parameter in das Berechnungssheet werden die Lagerkräfte automatisch berechnet. Bei einem schrägverzahnten Getriebe wird der Momentenverlauf durch die auftretende Axialkraft über 2 Ebenen dargestellt. Zur Berechnung der Lager werden die resultierenden Kräfte aus diesen Ebenen benötigt.

Entsprechende Auflagerkräfte: F_{Ax} , F_{Ay} , F_{Az} , F_{Bx} , F_{By} , F_{Bz}

Handskizzen für die Auflagerkräfte der Ausgangswelle:

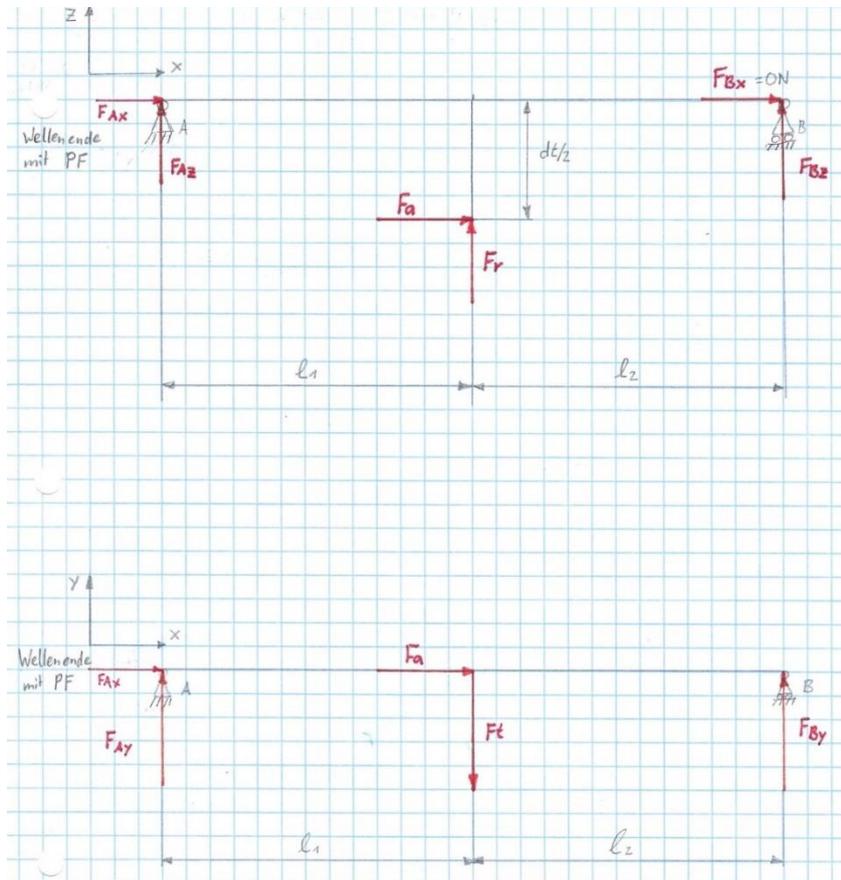


Abbildung 6: Auflagerkräfte Ausgangswelle skizziert (eigene Darstellung)

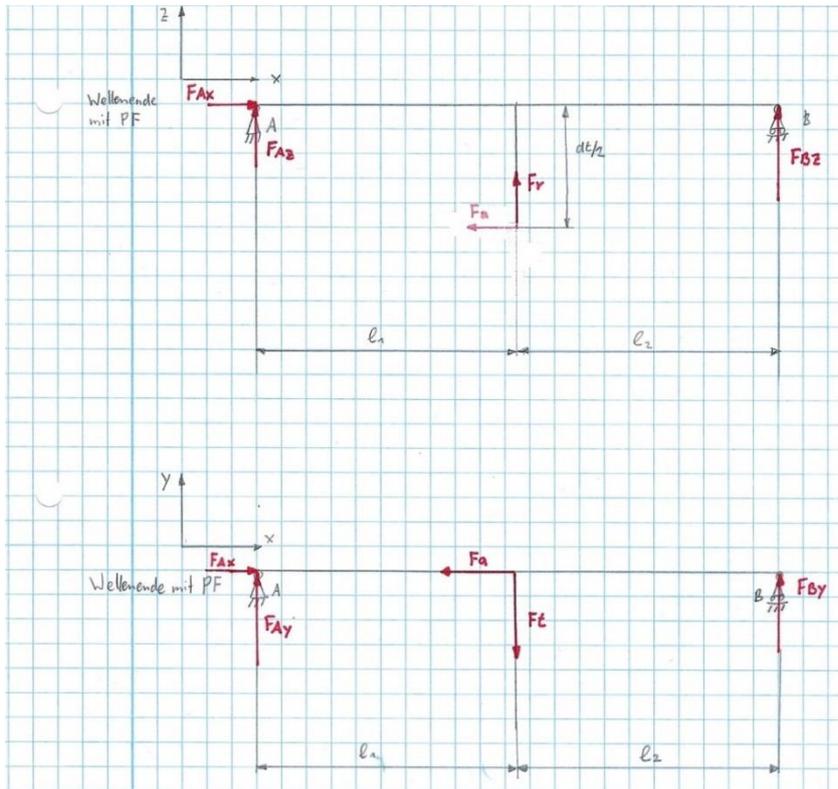
Handskizzen für die Auflagerkräfte der Eingangswelle:


Abbildung 7: Auflagerkräfte Eingangswelle skizziert (eigene Darstellung)

2.2.5.3 Darstellen der Momentenverläufe

Um die Momentenverläufe visualisieren zu können wurden in jedem Wellenabsatz die auftretenden Momente durch die Radialkraft, durch die Axialkraft und durch die Tangentialkraft in *Mathcad* berechnet. Da die Axialkraft und die Radialkraft in derselben Ebene liegen, werden die Momente aus diesen beiden Kräften beim Momentenverlauf zusammen berücksichtigt. Der Momentenverlauf durch die Tangentialkraft wird extra angeführt, da die Kraft in einer anderen Ebene liegt. Die senkrechten Linien mit den Maßen zeigen, wo jeweils ein neuer Wellenabsatz beginnt.

Im Anschluss wurden die Biegespannung jeweils in den Wellenabsätzen aus den resultierenden Momenten und die Torsionsspannung berechnet.

Entsprechend Ausgangswelle/Eingangswelle:

MbresFrFa: Resultierendes Moment durch Fr und Fa

IresFrFa: Länge der Welle, in Mathcad als Matrix angegeben

MbFt: Moment durch Ft

IresFt: Länge der Welle, in Mathcad als Matrix angegeben

Ausgangswelle Ebene XZ in der die Axialkraft und die Radialkraft liegen (siehe Abbildung 6: Auflagerkräfte Ausgangswelle skizziert (eigene Darstellung))

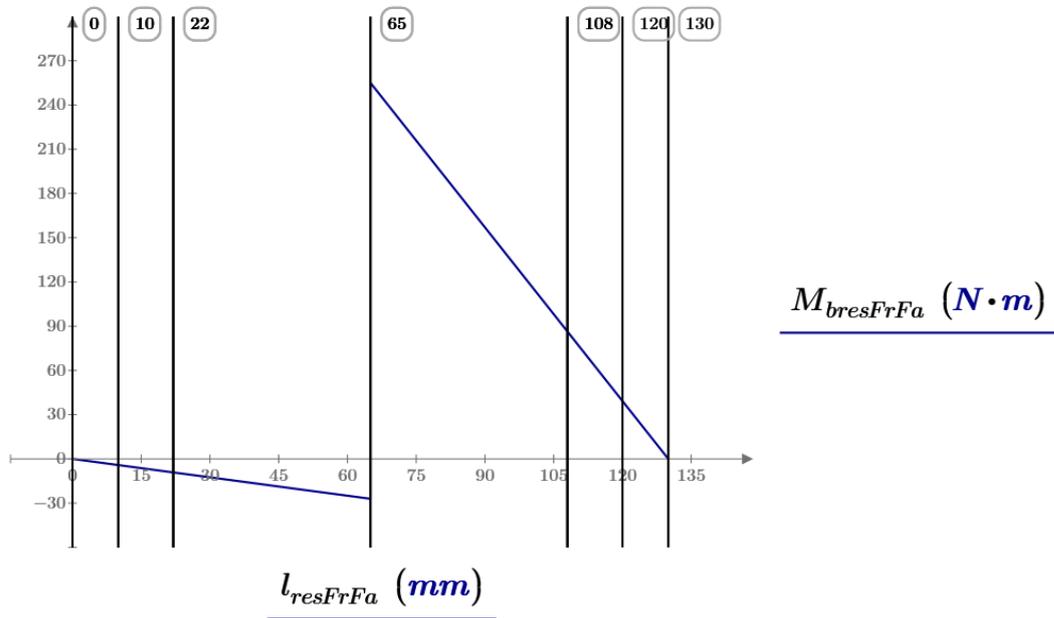


Abbildung 8: Mathcad Momentenverlauf Ausgangswelle Ebene XZ (eigene Darstellung)

Ausgangswelle Ebene XY in der die Tangentialkraft liegt (siehe Abbildung 6: Auflagerkräfte Ausgangswelle skizziert (eigene Darstellung))

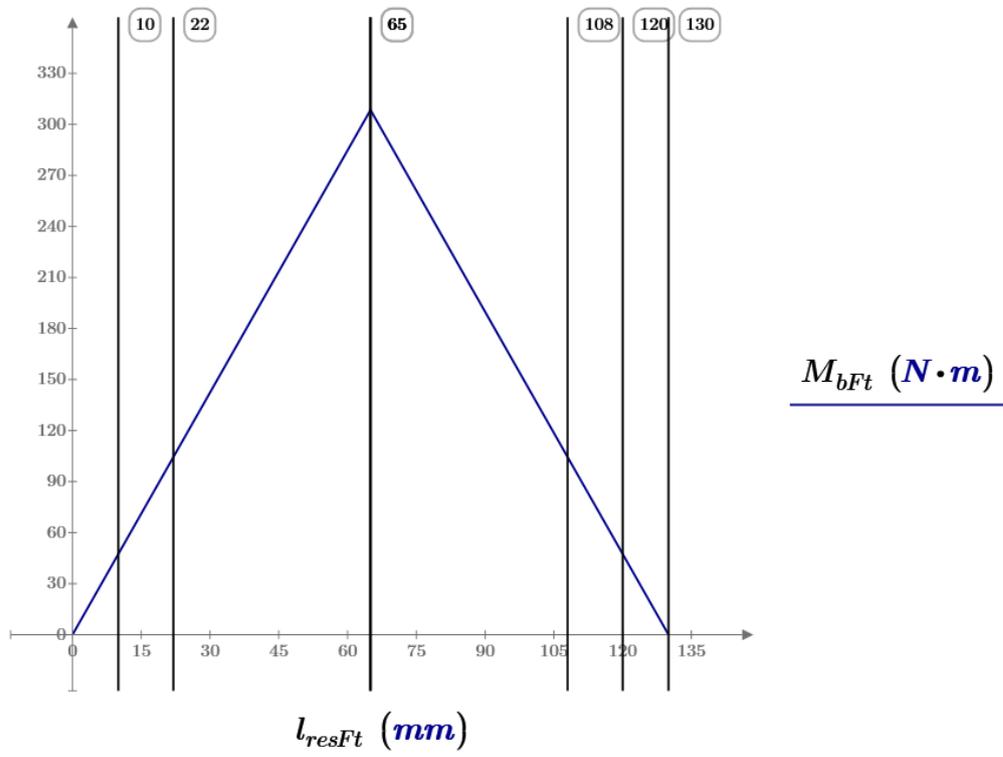


Abbildung 9: Mathcad Momentenverlauf Ausgangswelle Ebene XY (eigene Darstellung)

Eingangswelle Ebene XZ in der die Axialkraft und die Radialkraft liegen (siehe Abbildung 7: Auflagerkräfte Eingangswelle skizziert (eigene Darstellung))

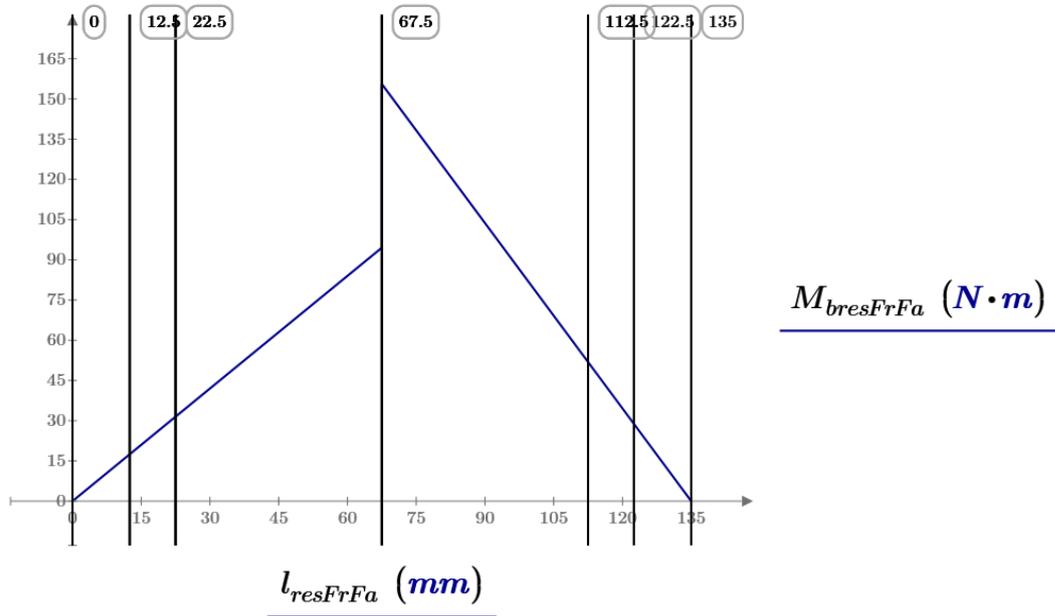


Abbildung 10: Mathcad Momentenverlauf Eingangswelle Ebene XZ (eigene Darstellung)

Eingangswelle Ebene XY in der die Tangentialkraft liegt (siehe Abbildung 7: Auflagerkräfte Eingangswelle skizziert (eigene Darstellung))

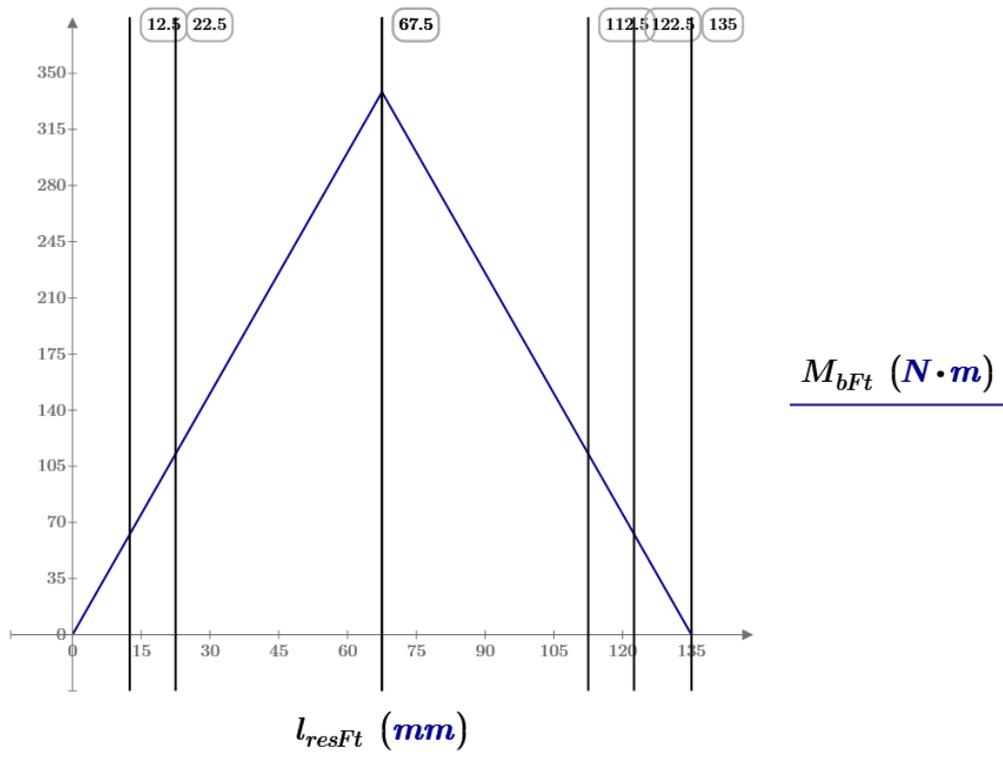


Abbildung 11: Mathcad Momentenverlauf Eingangswelle Ebene XY (eigene Darstellung)

2.2.5.4 Erstellen einer Inventor-Gestellanalyse zur Veranschaulichung der Momentenverläufe und zur Nachrechnung der Lagerkräfte

Zur visuellen Darstellung und zur Kontrolle der obigen Momentenverläufe und Spannungen wird im Programm *Autodesk Inventor* eine Gestellanalyse erstellt. Zunächst muss die Welle als Gestell nachgebildet werden. Danach werden Kräfte und Abhängigkeiten definiert. Dabei muss jede Kraft, deren Wirklinie die Achse der Welle nicht schneidet (Normalabstand vorhanden), durch ein Ersatzmoment und die Kraft dargestellt werden. Zur Fixierung der Welle wurden 3 benutzerdefinierte Abhängigkeiten verwendet. Dazu gehören das Loslager, das Festlager und die dritte Abhängigkeit, welche für die Entgegenwirkung des Drehmoments verantwortlich ist.

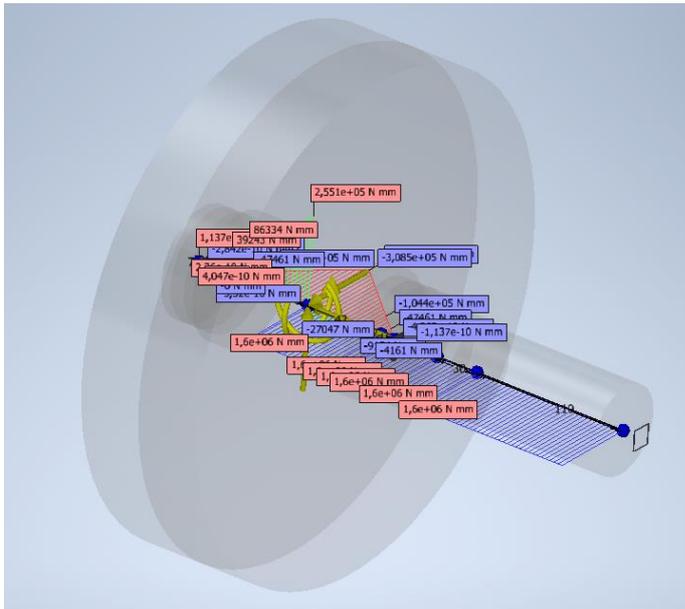


Abbildung 12: Momentenverläufe Ausgangswelle (eigene Darstellung)

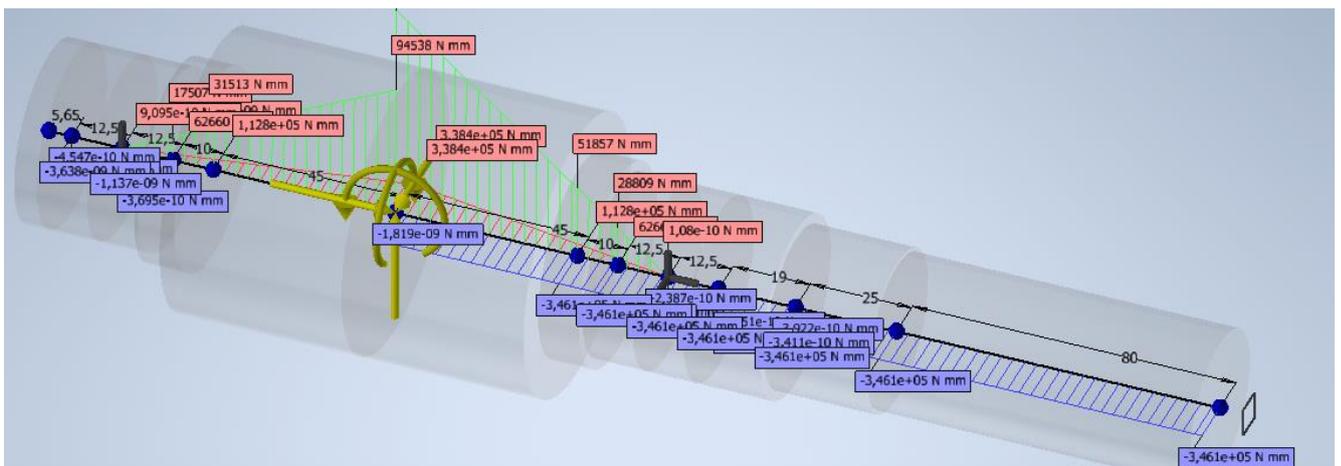


Abbildung 13: Momentenverläufe Eingangswelle (eigene Darstellung)

Vergleich mit den Verläufen unter 2.2.5.3

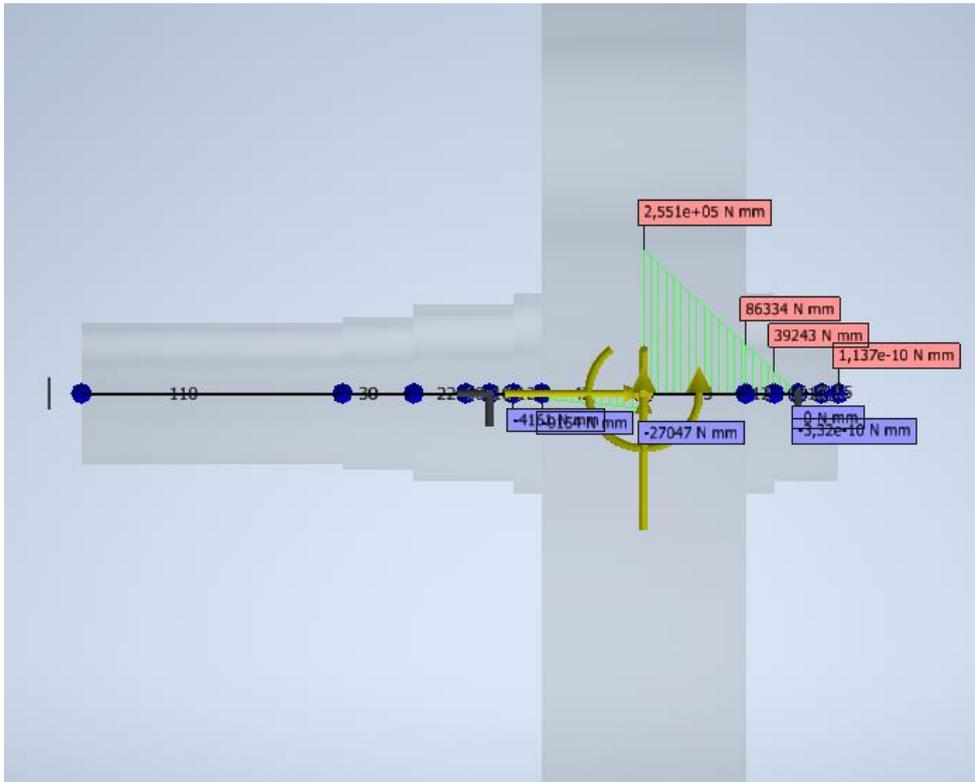


Abbildung 14: Gestellanalyse Momentenverlauf Ausgangswelle Ebene XZ (eigene Darstellung)

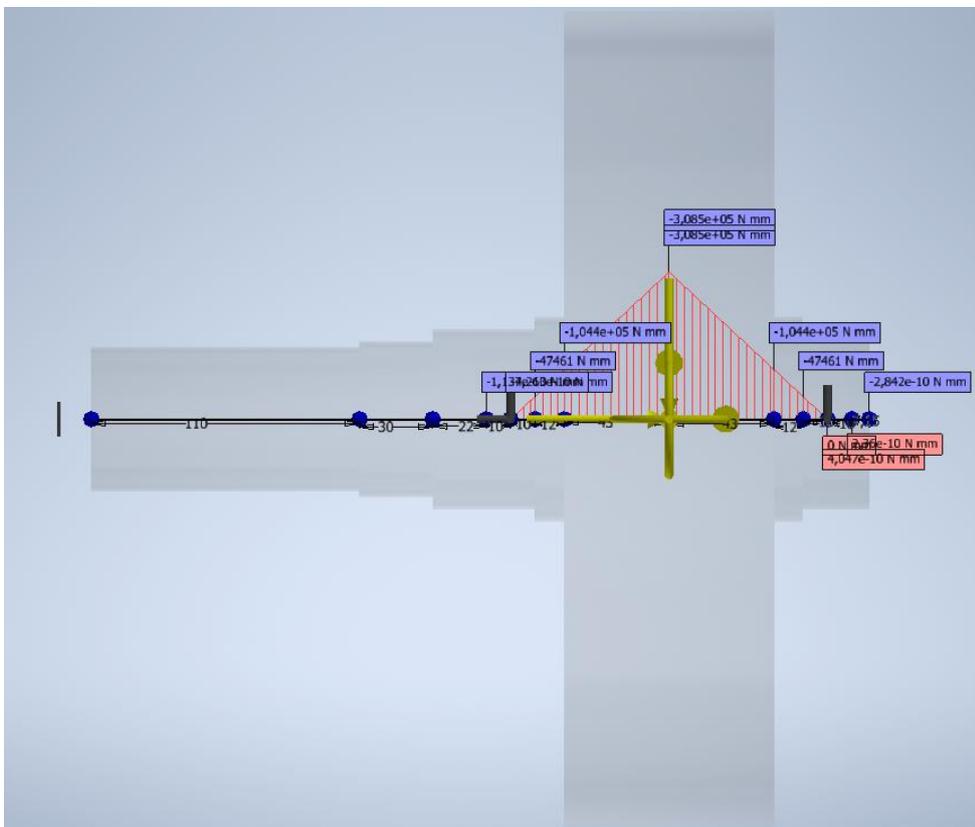


Abbildung 15: Gestellanalyse Momentenverlauf Ausgangswelle Ebene XY (eigene Darstellung)

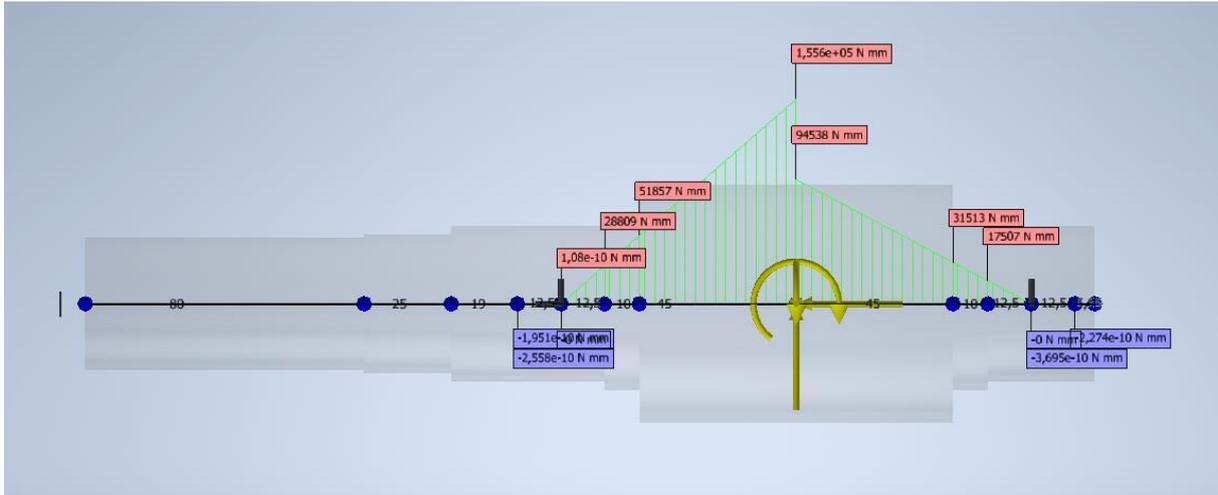


Abbildung 16: Gestellanalyse Momentenverlauf Eingangswelle Ebene XZ (eigene Darstellung)

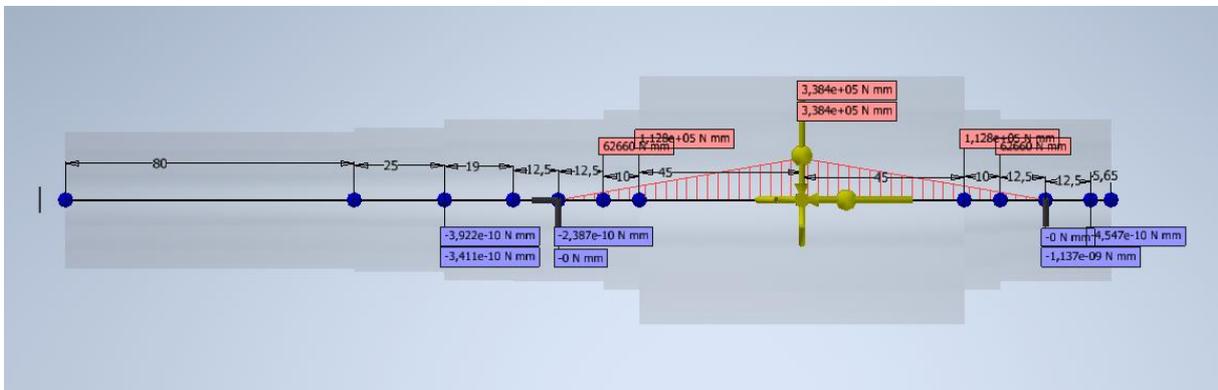


Abbildung 17: Gestellanalyse Momentenverlauf Eingangswelle Ebene XY (eigene Darstellung)

Zusätzlich können die Reaktionskräfte der Lager, also die Auflagerkräfte ausgelesen werden.

Das beschriebene Verfahren ist eine schnelle Möglichkeit herauszufinden, ob die berechneten Lagerkräfte sowie die Momente überstimmen.

2.2.6 Erstellen von Fließschemata zur Visualisierung der Berechnungsabläufe

Um die ausgewählten Berechnungsabläufe Schritt für Schritt darzustellen, wird für einige Arten der Berechnung ein Fließschema erstellt. Das Ziel soll sein, dass die zu Lehrenden eine gute Übersicht über den Ablauf bekommen. Die Fließschemata sollen so aufgebaut sein, dass sie ineinander verlinkt werden können, um zu zeigen, wo die benötigten Werte für diese Berechnung entnommen werden können und was nach der Berechnung erledigt werden kann. Es kann sein, dass es dafür ein eigenes Fließschema gibt oder man diese Werte aus einer anderen Quelle entnehmen soll. Wichtig ist, dass die Darstellung, wenn möglich, nicht mehr als eine Seite einnimmt. (siehe 2.2.7.1.6) Es sollen keine technischen Einzelheiten erklärt, sondern ein Überblick geschaffen werden.

Zu einigen Dokumenten gibt es einen Anhang, in dem genauere Eckdaten zur Berechnung angeführt werden. Bei Unklarheiten oder beim Wunsch nach mehr Informationen zur Berechnung kann dort oder im Lehrbuch nachgelesen werden. Auf die Quellenangabe wird beim Fließschema aufgrund der Übersichtlichkeit verzichtet. Diese ist entweder im *Mathcad* Berechnungs-sheet oder im Anhang ersichtlich.

Beispiel:

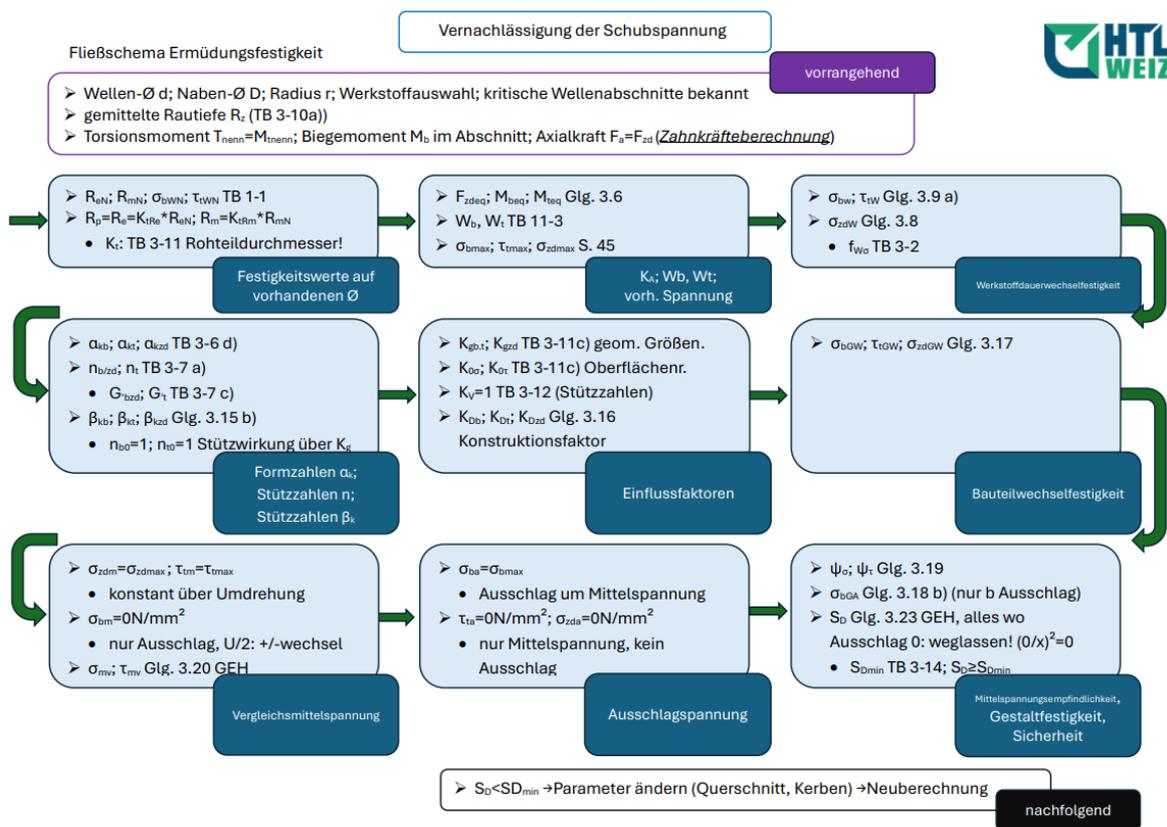


Abbildung 18: Fließschema Ermüdungsfestigkeit (eigene Darstellung)

2.2.7 Exkursion *Sallegger Technologies GmbH & Co KG*

Am 28.06.2024 durften die 4 Diplomanden zusammen mit dem Diplomarbeitsbetreuer Herr Professor Hermann Lang die Firma *Sallegger Technologies* in Fürstenfeld besichtigen, um einen Einblick in eine Konstruktionsvorschrift zu bekommen. Der COO, Herr Rudolf Posch, führte die Kleingruppe dabei durch das Unternehmen. Dabei wurden viele wichtige Erkenntnisse gewonnen.

2.2.7.1 Mitschrift

Die wichtigen Inhalte der Exkursion wurden dokumentiert. Diese werden im Folgenden dargebracht.

2.2.7.1.1 Allgemein

Die Konstruktionsrichtlinie oder vielmehr ihre „Werkzeuge“ müssen stets einfach sein, sonst werden sie nicht verwendet. Die Dokumente liegen auf dem Intranet des Unternehmens. Bei Änderungen müssen immer alle Mitarbeiter ausgecheckt sein, um Kollisionen zu vermeiden.

2.2.7.1.2 Planung

Planung macht nur dann sinn, wenn sie Aktuell ist. Wenn sie zu viel Zeit kostet, ist sie nicht nützlich. Das Unternehmen tendiert dazu, das zu nutzen, was sie haben und kennen, um Zeit zu sparen. Eine zu komplizierte Zeiterfassung oder Projektplanung in unbekanntem Programmen, welche erst eingelernt werden müssen, bringt wenig.

2.2.7.1.3 Regeln der Abläufe

Was vereinheitlicht werden kann, soll auch vereinheitlicht werden. Wenn es zu einem Ablauf eine Norm gibt, wird natürlich diese Norm herangezogen. Wenn es mehrere richtige Möglichkeiten gibt, wird eine ausgewählt und vereinheitlicht. Als Beispiel wurden verschiedene Arten einer Konstruktion gebracht. Daraus entstehen sozusagen Arbeitsrichtlinien, welche den Ablauf regeln.

→ Genau solche sollen durch die Diplomarbeit auch erstellt werden.

2.2.7.1.4 Das Firmenwissen

Die Wissensdatenbank der Firma ist so aufgebaut, dass besonders einfache oder effiziente Problemlösungen dokumentiert und aufbewahrt werden. Dazu gibt es Hilfestellungen, um die Tätigkeiten zu vereinheitlichen. Immer wieder bekommt das Unternehmen positive Rückmeldung der Kunden, weil sie die Aufträge immer ähnlich ausführen. Daraus entsteht auch ein Mehrwert für die Kunden, da die Monteure zum Beispiel schon wissen, wie sie gewisse Dinge zu montieren haben.

2.2.7.1.5 Reklamationsbearbeitung

Fehler passieren, aber sie sind immer mit Kosten verbunden. Wichtig ist die Fehler zu dokumentieren, anzugeben warum sie aufgetreten sind und vor allem wie sie beseitigt wurden. Mithilfe der Konstruktionsvorschrift wird sichergestellt, dass der Fehler nicht erneut auftritt. Außerdem kursiert ein firmeninterner Newsletter, wenn es etwas Neues gibt.

2.2.7.1.6 Aufbau der Richtlinie

Die Konstruktionsvorschrift besteht aus PDF-Sheets, welche, wenn möglich, nur einseitig und möglichst einfach gestaltet sind. So soll rasch das Wissen veranschaulicht und eine Anweisung gegeben werden können. Diese Blätter enthalten Links zu *Excel*-Dokumenten, zum Beispiel für eine Erstberechnung.

Wenn etwas im Internet gefunden wurde, was auch für andere hilfreich sein könnte, soll es abgespeichert werden, damit die anderen Mitarbeiter nicht mehr danach suchen müssen. So wird Zeit gespart. Um abgespeicherte Dokumente schnell zu finden, wird eine Software benutzt.

Maschinendatenblätter: Das Unternehmen verwendet Maschinendatenblätter, damit nicht immer die ganze Norm durchgeschaut werden muss.

Arbeitsanweisungen: Diese geben vor, wie wann und wo etwas abzuspeichern ist. (z.B. Baugruppen, Bauteile oder Ordner wie Berechnung, Konzepte und Layout)

2.2.7.1.7 Projekthandbuch, Projektleiter

Nebenbei wird ein Projekthandbuch geführt, welches eine Übersicht über die Ansprechperson, den Terminplan, die Meilensteine, den aktuellen Stand, welche Baugruppen benötigt werden und eine Checkliste (Berechnungen gemacht? Grobkonzept und Taktzeitanalyse gemacht?) beinhaltet. Dazu gibt es interne Aufgaben, um nichts zu vergessen. Wenn es Änderungen gibt oder etwas Neues dazukommt, wird dies auch hier dokumentiert. (z.B.: Mehraufwand oder Minderaufwand)

Die Aufgabe des Projektleiters ist es, unter anderem, Maßnahmen einzuleiten, wenn schon zu viele Stunden verbraucht wurden, in denen noch kaum Fortschritt gemacht wurde.

2.2.7.1.8 Ordnerstruktur

Die Ordnerstruktur des Unternehmens sieht folgendermaßen aus:

A 128600 030-00-00-000	Hauptbaugruppe
A 128600-030-01-(00)	Baugruppe aus Baugruppen
A 128600-030-02-(00)	weitere Baugruppe aus Baugruppen
A 128600-030-01-01	Baugruppe mit Bauteilen darin
A 128600-030-01-02	weitere Baugruppe mit Bauteilen darin
A 128600-030-01-01-01	Unterbaugruppe
A 128600-030-01-01-01-001	Bauteil (theoretisch 999 Bauteile möglich)
	→ Bauteil wird auch in der Stückliste so benannt.

Am Anfang der Konstruktion werden Wörter anstelle der letzten 3 Stellen bei den Bauteilen gesetzt. Dies kennzeichnet, dass die Konstruktion noch nicht fertig ist. Es kommen noch eventuell Teile dazu und weg. Die Nummern werden erst dann vergeben, wenn die Zeichnungen erstellt werden.

(Posch, 2024)

2.3 Berechnungsabläufe mit LeTTo (Hackl Markus)

2.3.1 Erste Anfänge

Zu Beginn der Diplomarbeit wurden verschiedene Tutorials für GNU Octave²⁷ und LeTTo²⁸ angeschaut. Der Grundgedanke war, dass die Lernenden mit LeTTo ihre Getriebeberechnungen durchführen. Um Grafiken und Tabellen auszuwerten sollte GNU Octave verwendet werden. Nach Recherche des Betreuers und des Schülers kam man zu dem Entschluss GNU Octave nicht zu verwenden, da es nicht bzw. nur schwer durchführbar wäre. Es wurde beschlossen, dass Tabellen nicht von dem Rechner ausgewertet werden, sondern der Benutzer Werte selbständig aussucht und in das Programm eingibt. So kann man für einen schnellen und einfachen Berechnungsweg sorgen.

Der Grundaufbau in LeTTo sollte so aussehen, dass es einen Weg gibt gegebene Werte einzugeben, mit diesen anschließend anhand von Formeln und Tabellen die Berechnung durchführt und zum Schluss sein Ergebnis vergleichen kann.

Dieser Gedanke wurde so umgesetzt, dass es bei jedem Berechnungsbeispiel eine Eingabetabelle für den Benutzer gibt. Jeder Berechnungsschritt ist, in richtiger Reihenfolge, mit Formeln und Tabellen aufgereiht. Hinzugefügt wurde, dass jedes Zwischenergebnis kontrolliert und verglichen wird. Die Lernenden bekommen somit sofortiges Feedback über ihre Berechnung und ob die richtige Einheit für ihre Werte verwendet wurde.

2.3.2 Durchführung

In LeTTo wurden die Mehrfach-Berechnungsfragen verwendet. Sie erlauben mehrere verschiedene Fragentypen zusammen mit der Möglichkeit, mithilfe der eingegebenen Werte, im Hintergrund die Ergebnisse zu berechnen und diese mit den Eingegebenen zu vergleichen. Die Fragen werden mithilfe des LeTTo Editors erstellt.

²⁷ GNU Octave ist eine freie Software zur numerischen Lösung für mathematische Probleme mithilfe einer Scriptsprache.

²⁸ LeTTo ist ein E-Learning-Server, der vom Österreichischen Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung empfohlen wird und speziell auf technisch-mathematische Gegenstände optimiert ist.

Das Layout des Editors wird für eine verständliche Erklärung in 3 Bereichen aufgeteilt.

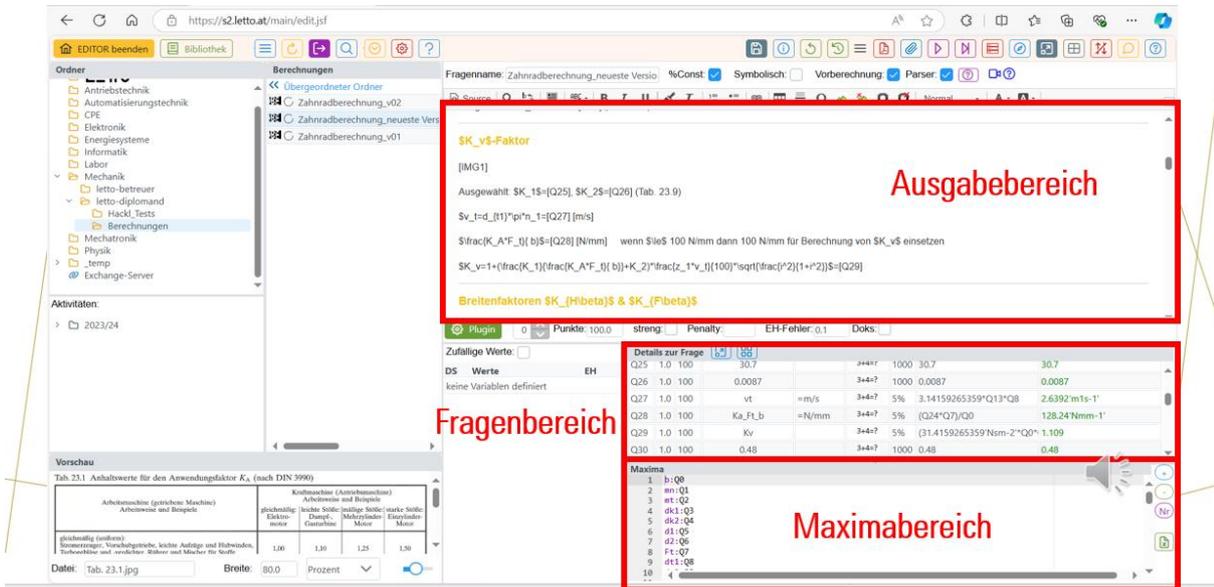


Abbildung 19: Bereiche in LeTTo (Eigene Darstellung, Version 1.2 - Rev: 6613(LeTTo))

2.3.2.1 Der Ausgabebereich

In diesem Bereich wird alles erstellt, dass der Benutzer später zusehen bekommt. Hier werden die Eingabetabelle, alle Formeln und Tabellen sowie alle Felder zum Vergleichen der Ergebnisse erstellt.

Vom grundlegenden Aufbau ist der Ausgabebereich Word sehr ähnlich. Hier kann man Texte und Bilder einfügen und bearbeiten. Es besteht die Möglichkeit die Schriftart,

-größe oder -farbe zu ändern, sowie Tabellen oder Aufzählungszeichen einzufügen. Ein wesentlicher Unterscheidungspunkt ist das Fragenfeld, dass man einfügen kann. Dieses ist als zum Beispiel [Q0] gekennzeichnet und wird für den Benutzer als leeres Eingabefeld dargestellt. Des Weiteren kann man Bilder einfügen. Diese sind als zum Beispiel [IMG0] gekennzeichnet. Um Formeln einzufügen, wird die LaTeX²⁹-Sprache verwendet. Hierfür wird ein Ausdruck mit einem \$-Zeichen begonnen und beendet. Zwischen den Zeichen kann man die gewünschte Formel in LaTeX-Schreibweise eingeben.

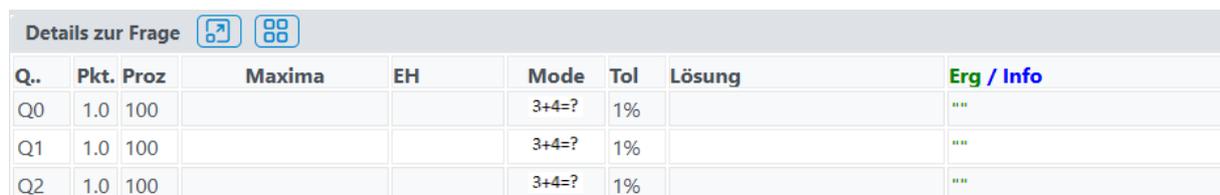
Jeder Rechner wird mit einer Eingabetabelle begonnen. Hierbei werden alle Werte, die benötigt werden, abgefragt. Diese sind mit dem typischen Variablen wie d für Durchmesser und F für Kraft gekennzeichnet. Der Wert muss mit der richtigen Einheit eingegeben werden, die bei jedem Eingabefeld rechts danebensteht.

²⁹LaTeX ist ein kostenloses und plattformunabhängiges Softwarepaket. Es handelt sich um eine Auszeichnungssprache und ein Dateiformat, mit dem vor allem Texte mit mathematischen Formeln erstellt und formatiert werden können.

Nachdem alle gegebenen Parameter eingetragen wurden, beginnt der Rechnungsablauf. Bei jeder Berechnung steht die dazugehörige Formel, im LaTeX-Format zwischen zwei $\$$ -Zeichen, mit einem Eingabefeld für den Benutzer und die gewünschte Einheit. Sollte ein Wert für den Berechnungsvorgang aus einer Tabelle benötigt werden, wurde die Tabelle als Bild eingefügt und darunter mit einem Eingabefeld und richtiger Einheit versehen. So kann der Benutzer den Wert aus der Tabelle lesen und in das Feld eintragen. Diese Werte werden nicht verglichen, sondern nur, sowie Werte aus der Eingabetabelle, für die Berechnung von anderen Ergebnissen verwendet.

2.3.2.2 Der Fragenbereich

Dieser Bereich dient als Schnittstelle zwischen dem Ausgabebereich und dem Maximabereich, der die Berechnungen durchführt. Hier wird automatisch eine Zeile für jedes Eingabefeld erstellt. Es kann eingestellt werden welches Ergebnis bzw. welche berechnete Variable richtig ist, welche Einheit eingegeben werden muss, wieviel Punkte man für die Frage bekommt und wie groß die Toleranz ist.



Q..	Pkt.	Proz	Maxima	EH	Mode	Tol	Lösung	Erg / Info
Q0	1.0	100			3+4=?	1%		...
Q1	1.0	100			3+4=?	1%		...
Q2	1.0	100			3+4=?	1%		...

Abbildung 20: Fragenbereich (Eigene Darstellung, Version 1.2 - Rev: 6613(LeTTo))

Unter der Spalte Maxima kann man das erwünschte Ergebnis eingeben. Ist es ein fixer Zahlenwert kann man diesen direkt eingeben, wird das Ergebnis erst berechnet gibt man hier die Variable ein, die im Maximabereich berechnet wird (siehe 2.3.2.3). Ist der eingegebene Wert ein Zahlenwert, wird zwischen zwei $'$ -Zeichen die Einheit eingegeben, die dieser Wert hat. Ansonsten wird davon ausgegangen, dass es sich um die SI-Einheit handelt.

Da die Lernenden alle Einheiten richtig mit ihrem Ergebnis eingeben sollen wird in der nächsten Spalte, der EH-Spalte, mit = zuvor die erwünschte Einheit eingetragen.

Alle Eingabefelder geben in den Rechnern Punkte, obwohl bei manchen Feldern jeder Zahlenwert richtig ist (Angaben, Tabellenwerte). Das liegt daran, dass somit beim Vergleichen Teilpunkte gegeben werden, sollte die Einheit falsch sein. Das ist ohne Punkten nicht der Fall und der Benutzer bekommt keine Rückmeldung, ob das Eingegabene richtig ist.

Zuletzt ist es noch möglich die Toleranz einzugeben. Diese haben wir sehr hoch gesetzt, wenn jeder Wert richtig ist, wie z.B. bei Angaben. Bei Berechnungsfeldern ist die Toleranz mit einem Prozentsatz der Abweichung vom echten Wert gestellt.

2.3.2.3 Der Maximabereich

Im Maximabereich werden Eingabefelder mit Variablen verknüpft und alle Berechnungen von LeTTo durchgeführt.

Um mit einem vom Benutzer eingegebenen Wert rechnen zu können muss dieser zuerst einer Variable zugewiesen werden. Zuweisen kann man, indem die Variable mit einem Doppelpunkt mit dem Namen des Fragenfeldes verknüpft wird.

Um eine Berechnung durchzuführen, wird die Formel mit Variablen, Zahlenwerten und Rechenzeichen aufgeschrieben und diese abermals mit einem Doppelpunkt einer Variable zugewiesen.

Die berechnete Variable wird wie bereits erwähnt im Fragenbereich einem Berechnungsfeld zugewiesen und somit zum Vergleichen der Berechnung des Benutzers verwendet.

Maxima	
1	a:Q0
2	b:Q1
3	c:a+b
4	

Abbildung 21: Maximaberechnung (Eigene Darstellung, Version 1.2 - Rev: 6613(LeTTo))

2.3.3 Beschreibung anhand eines Beispiels

In diesem Abschnitt wird anhand der Berechnungsvorlage für die Lagerkräfte einer Getriebewelle nach Roloff/Matek 24. Auflage der genaue Aufbau sowie der Ablauf des Erstellens in LeTTo dargestellt.

Befindet man sich im Editor von LeTTo ist der erste Schritt mit Rechtsklick eine Mehrfach-Berechnungsfrage einzufügen.



Abbildung 22: Mehrfach-Berechnungsfrage (Eigene Darstellung, Version 1.2 - Rev: 6613(LeTTo))

2.3.3.1 Ausgabebereich

Als erstes wird die Überschrift erstellt, die man, intuitiv wie in anderen Textbearbeitungstools formatieren kann.



Abbildung 23: Bearbeitungsleiste (Eigene Darstellung, Version 1.2 - Rev: 6613(LeTTo))

Der erste Teil der Berechnungsvorlage besteht aus einer Eingabetabelle. Diese wird mit einem linksklick auf das Tabellen-Symbol in der oberen Leiste erstellt (siehe [Abbildung 21](#), rot markiert). Danach können die Anzahl der Zeilen und Spalten sowie andere Formatierungen eingestellt werden.

In der Tabelle werden alle benötigten Variablen in folgender Art eingetragen: Zuerst zwischen \$-Zeichen der Name der Variable, nach einem =-Zeichen die Teilfrage und am Ende die benötigte Einheit in eckigen Klammern (siehe [Abbildung 22](#)). Die Teilfrage wird mit linksklick auf das Q in der oberen Leiste erstellt (siehe [Abbildung 21](#), gelb markiert).

$\$F_r\$=[Q0]$ [N]
$\$F_a\$=[Q1]$ [N]
$\$F_t\$=[Q2]$ [N]
$\$d_t\$=[Q3]$ [mm]

Abbildung 24: Tabelleneingabe (Eigene Darstellung, Version 1.2 - Rev: 6613(LeTTo))

Nach der Eingabetabelle wurde für das Verständnis ein Bild in der Berechnung eingefügt. Diese wird mit linksklick auf das Bergsymbol in der Bearbeitungsleiste erstellt (siehe [Abbildung 21](#), blau markiert).

Um die Berechnung zu beginnen, werden im Ausgabebereich alle Formeln in richtiger Reihenfolge eingetragen. Diese werden zwischen \$-Symbole in LaTeX-Schreibweise eingegeben. Nach der Formel wird nach einem =-Zeichen eine Teilfrage eingefügt und die geforderte Einheit in eckigen Klammern.

$$\sum_{M_A=0} \quad F_{\{B_z\}} = \frac{-F_r \cdot l_1 - F_a \cdot \frac{d_t^2}{l_1 + l_2}}{l_1 + l_2} = [Q6] \text{ [N]}$$

$$\sum_{M_B=0} \quad F_{\{A_z\}} = \frac{F_a \cdot \frac{d_t^2}{l_1 + l_2} - F_r \cdot l_2}{l_1 + l_2} = [Q7] \text{ [N]}$$

$$\sum_{F_x=0} \quad F_{\{B_x\}} = -F_a = [Q8] \text{ [N]}$$

Abbildung 25: Formeleingabe (Eigene Darstellung, Version 1.2 - Rev: 6613(LeTTo))

2.3.3.2 Fragenbereich

Es gibt 2 Arten von Feldern. Im Eingabefeld gibt der Benutzer angegebene oder aus Tabellen gelesene Werte an, mit denen gerechnet wird. Im Berechnungsfeld wird das Ergebnis einer Berechnung eingegeben und mit der Berechnung von LeTTo verglichen.

2.3.3.2.1 Eingabefeld

Da für die Berechnung der Lagerkräfte keine Werte aus Tabellen gelesen werden, sind nur die Felder aus der Eingabetabelle als Eingabefeld zu sehen.

Bei Eingabefeldern ist wichtig in der Maxima-Spalte einen Wert einzugeben. Die dazugehörige Einheit wird zwischen dem '-Symbol eingegeben. In der Spalte EH wird mit =-Zeichen die benötigte Einheit des Benutzers eingetragen. Sollte die Einheit nicht oder falsch eingetragen werden sieht das somit der Benutzer, da seine Eingabe nur als teilweise richtig gewertet wird. Die Toleranz ist bei Eingabefeldern so hoch eingestellt, dass mit vernünftigen Werten die Eingabe immer als richtig gewertet wird.

Details zur Frage								
Q..	Pkt.	Proz	Maxima	EH	Mode	Tol	Lösung	Erg / Info
Q0	1.0	100	3508.147 'N'	=N	3+4=?	10000	3508.1N	3508.1N
Q1	1.0	100	1673.717 'N'	=N	3+4=?	10000	1673.7N	1673.7N
Q2	1.0	100	9492.122 'N'	=N	3+4=?	10000	9492.1N	9492.1N

Abbildung 26: Eingabefelder (Eigene Darstellung, Version 1.2 - Rev: 6613(LeTTo))

2.3.3.2.2 Berechnungsfeld

Bei einem Berechnungsfeld ist in der Maxima-Spalte eine Variable einzutragen. Diese Variable wird im Maximabereich berechnet, um das eingegebene Ergebnis zu vergleichen. In der Eh-Spalte ist wie auch beim Eingabefeld die benötigte Einheit einzutragen. Die Toleranz ist bei dieser Berechnung auf 5% eingestellt.

Q6	1.0	100	FBz	=N	3+4=?	5%	$(-Q0*Q4-1/2*Q1*Q3)/(Q4+Q$	-3586N
Q7	1.0	100	FAz	=N	3+4=?	5%	$(1/2*Q1*Q3-Q0*Q5)/(Q4+Q$	77.891N
Q8	1.0	100	FBx	=N	3+4=?	5%	-Q1	-1673.7N

Abbildung 27: Berechnungsfelder (Eigene Darstellung, Version 1.2 - Rev: 6613(LeTTo))

2.3.3.3 Maximabereich

Alle Berechnungen für den Vergleich der Ergebnisse erfolgen im Maximabereich. Hier werden die Teilfragen mit Variablen verknüpft und neue Variablen, die im Fragenbereich als Ergebnis eingetragen werden, berechnet.

Um auf einen eingegebenen Wert einer Teilfrage zugreifen zu können muss dieser unter einer Variable gespeichert werden (siehe [Abbildung 26](#)).

Maxima	
1	Fr:Q0
2	Fa:Q1
3	Ft:Q2
4	dt:Q3
5	l1:Q4

Abbildung 28: Zuweisung (Eigene Darstellung, Version 1.2 - Rev: 6613(LeTTo))

Maxima	
8	$FBz: (-Fr*11-Fa*(dt/2))/(11+12)$
9	$FAz: (Fa*(dt/2)-Fr*12)/(11+12)$
10	$FBx: -Fa$
11	$FAx: 0$
12	
13	$FBy: (Ft*11)/(11+12)$
14	$FAy: Ft-FBy$
15	
16	$FA: (FAy^2+FAz^2)^{0.5}$
17	$FByz: (FBy^2+FBz^2)^{0.5}$
18	$FR: (FRy^2+FRz^2+FRx^2)^{0.5}$

Abbildung 29: Berechnung (Eigene Darstellung, Version 1.2 - Rev: 6613(LeTTo))

Mit diesen Variablen kann nun in den Zeilen darunter gerechnet werden. Hierbei wird auf der rechten Seite die Formel mit Variablen, Zahlenwerten und Rechenzeichen aufgeschrieben und das Ergebnis wird in der auf der linken Seite stehenden Variable gespeichert (siehe [Abbildung 27](#)).

2.3.4 Probleme/Hindernisse

2.3.4.1 Dividieren

Zum Beginn des Erstellens der LeTTo- Mehrfach-Berechnungsfragen gab es ein Problem mit der Berechnung mit Brüchen. Stand eine vom Maximabereich berechnete Variable unter dem Bruchstrich konnte die Berechnung nicht durchgeführt werden. Wahrscheinlich liegt das daran, dass LeTTo mit dem Fragenfeld nicht rechnen kann da es nicht erkennt welches Format dieses besitzt. Das Problem wurde gelöst, indem im Fragenbereich, in der Spalte Maxima ein Zahlenwert eingetragen wurde. Dieser hat keinen Einfluss auf das Ergebnis, setzt das Feld aber auf ein Zahlenformat. Wird ein Wert in das Fragenfeld eingegeben weiß LeTTo, dass es sich um eine Zahl handelt und kann damit rechnen.

2.3.4.2 Einheitenrechnung

Ein weiteres Problem bei der Erstellung der Berechnungsanleitung waren die Einheitenrechnungen. Manche Faktoren für die Berechnung sind nur Annäherungsfaktoren. In der Formel für diese Faktoren stimmt die Einheitenrechnung nicht. LeTTo kann diese Formel nicht berechnen, wenn die Einheiten nicht zusammenpassen. Da Einheiten für jede Berechnung verlangt werden besitzen viele benötigte Werte bereits Einheiten.

Um dieses Problem zu lösen, wurden Variablen erstellt, die den Wert von 1 haben und die Einheit, die man entfernen möchte. Den Wert, den man ohne Einheit haben möchte, um damit rechnen zu können dividiert man durch diese Variable. Dadurch kürzen sich die Einheiten weg, ohne den Zahlenwert zu verändern. Diesen Schritt wird mit allen Werten in der Formel denen bereits eine Einheit zugewiesen wurde gemacht. So können auch Faktoren ohne richtige Einheitenrechnung berechnet werden.

2.3.5 Finales Ergebnis

Insgesamt wurden 2 Rechenabläufe in LeTTo erstellt. Einer berechnet die Profilüberdeckung, die Zahnfußtragfähigkeit und die Flanken- bzw. Grübchentragfähigkeit eines Zahnrades. Der andere ist für die Berechnung der Lagerkräfte einer Getriebewelle.

Es gibt noch viel mehr Berechnungsabläufe, um ein Getriebe auslegen zu können. Diese 2 sind nur als Beispiel und Vorlage gedacht, um von anderen SchülerInnen oder einer anderen Diplomarbeit weitergeführt zu werden. Es setzt die Grundlage, auf die aufgebaut werden kann und gibt die Möglichkeit auch andere Berechnungen anders als die eines Getriebes im LeTTo zu implementieren.

2.4 Konstruktionsablauf (Gutmann Sven)

2.4.1 Parameter für Konstruktion

2.4.1.1 Vorgegebene Parameter aus Berechnung

- Grundkreisdurchmesser d_1 ; d_2
- Fußkreisdurchmesser df_1 ; df_2
- Teilkreisdurchmesser dt_1 ; dt_2
- Kopfkreisdurchmesser dk_1 ; dk_2
- Zahnradbreite b_1 ; b_2
- Achsabstand a
- Wellendurchmesser Ritzel d_{sh}
 - auf den Durchmesser d_{sh} wird später mithilfe des Stirnradgenerators das Zahnrad konstruiert

2.4.1.2 Berechnen der Wellendurchmesser

Folgende Werte sind für die Berechnung vorgegeben:

M_1	=	346,129 Nm
M_2	=	1600 Nm
KA	=	1,1
τ_{zul}	=	60 N/mm ² (Annahme)

Die Durchmesser d_W , d_B , d_l und d_b müssen für beide Wellen berechnet werden. Anschließend müssen für Ritzelwelle und Abtriebswelle genormte Wellenenden ausgewählt werden.

Genaue Berechnungen: (siehe [2.4.5.1](#))

Alle Parameter werden in eine Excel-Tabelle geschrieben. Diese kann man in den Bauteilen/Baugruppen einfügen. Beim Konstruieren muss man somit keine Zahlenwerte, sondern nur die Parameter/Buchstaben (z.B. d , b , ...) eingeben. Der Vorteil ist, dass falls man Zahlenwerte ändert, man diese in die Excel Tabelle eingeben kann und die Werte direkt in die betroffenen Bauteile/Baugruppen einfließen und diese dann automatisch geändert werden. Sonst müsste man die Werte bei jedem Bauteil/ Baugruppe einzeln ändern. Die Werte in der Excel Tabelle können jederzeit geändert werden und es können neue Werte hinzugefügt werden.

Form für die Excel Tabelle:

	A	B	C	D	E
1	Paramete	Value	Units	Comments	
2	a	203.085	mm	Achsabstand	
3	SW_Länge	255	mm	Seitenwand Länge	
4	SW_Breite	120	mm	Seitenwand Breite	
5	SW_Höhe	190	mm	Seitenwand Höhe	
6	LB_Höhe	75	mm	Lagerblock Höhe	
7	LB_Länge	350	mm	Lagerblock Länge	
8	LB_Breite	74	mm	Lagerblock Breite	
9	AbstandLBzuB	70	mm	Abstand Lagerblock Bohrung	
10	RWd	100	mm	RW Lagerdurchmesser	
11	AwD	115	mm	AW Lagerdurchmesser	
12	Bd	13	mm	Bohrung Durchmesser	
13					

Abbildung 30: Parameter- Excel Form (eigene Darstellung)

2.4.2 Getriebe + Normteile

2.4.2.1 Ritzelwelle

Erstellen der Baugruppe „Ritzelwelle“.

Mithilfe des Wellengenerators die Ritzelwelle konstruieren.

Nuten für Passfeder und Sicherungsring und Gewinde für Wellenmutter können im Nachhinein angepasst werden, sobald man die Normteile hat.



Abbildung 31: Ritzelwelle (eigene Darstellung)

2.4.2.2 Stirnräder

In der Baugruppe „Ritzelwelle“ wird mit dem Stirnradgenerator auf den Durchmesser dsh das Zahnrad für die Ritzelwelle sowie auch das Zahnrad für die Abtriebswelle konstruiert.

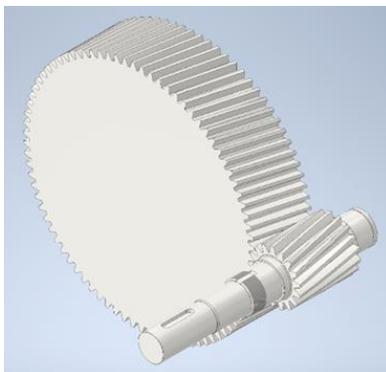


Abbildung 32: Stirnräder (eigene Darstellung)

2.4.2.3 Abtriebswelle

Die Baugruppe „Abtriebswelle“ wird erstellt und darin die Welle mithilfe des Wellengenerators konstruiert.



Abbildung 33: Abtriebswelle (eigene Darstellung)

2.4.2.4 Zusammenfügen von Ritzelwelle und Abtriebswelle

2.4.2.4.1 Bohrung + Nut für Abtriebswelle

In der Baugruppe „Ritzelwelle“ wird beim Zahnrad für die Abtriebswelle eine Bohrung+Nut für die Abtriebswelle konstruiert.

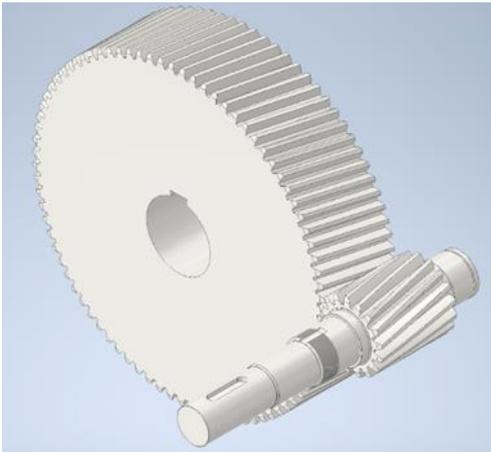


Abbildung 34: Bohrung+Nut für Abtriebswelle (eigene Darstellung)

2.4.2.4.2 Ritzelwelle mit Abtriebswelle verbinden

Die Baugruppe „Getriebe_gesamt“ erstellen.

Hier die Baugruppen „Ritzelwelle“ und „Abtriebswelle“ einfügen und zueinander abhängig machen.

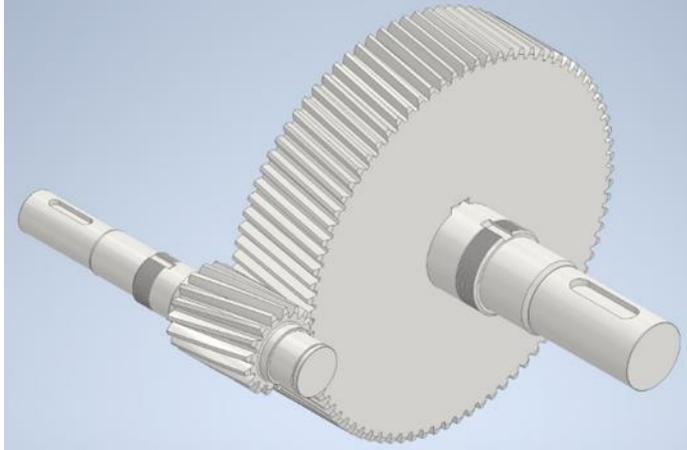


Abbildung 35: Ritzelwelle+ Abtriebswelle (eigene Darstellung)

2.4.2.5 Abstandsring

Das Bauteil „Abstandsring“ erstellen.

Dieser dient dazu, um bei der Abtriebswelle einen Abstand zwischen Lager und Stirnzahnrad zu gewähren.

Der Abstandsring wird in der Baugruppe „Getriebe_gesamt“ eingefügt und abhängig gemacht.

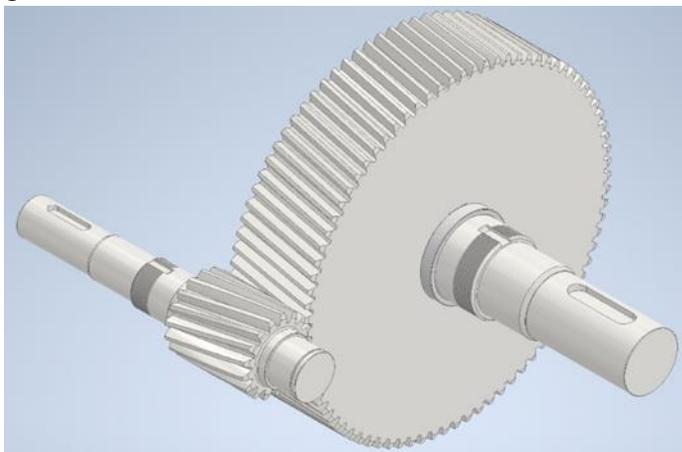


Abbildung 36: Abstandsring (eigene Darstellung)

2.4.2.6 Normteile einfügen

Folgende Normteile in die Baugruppe „Getriebe_gesamt“ einfügen.

- 4xLager (Typ erhalten-aus Berechnung)
- 3xPassfeder (berechnet, (siehe [2.4.5.2](#)))
 - für Wellenenden und Verbindung zwischen Abtriebswelle und Zahnrad
- 2xSicherungsring (passend gewählt)
 - die Nut dafür ist genormt, (siehe [2.4.5.3](#)))
- 2xSicherungsblech (passend gewählt)
- 2xWellenmutter (passend gewählt)

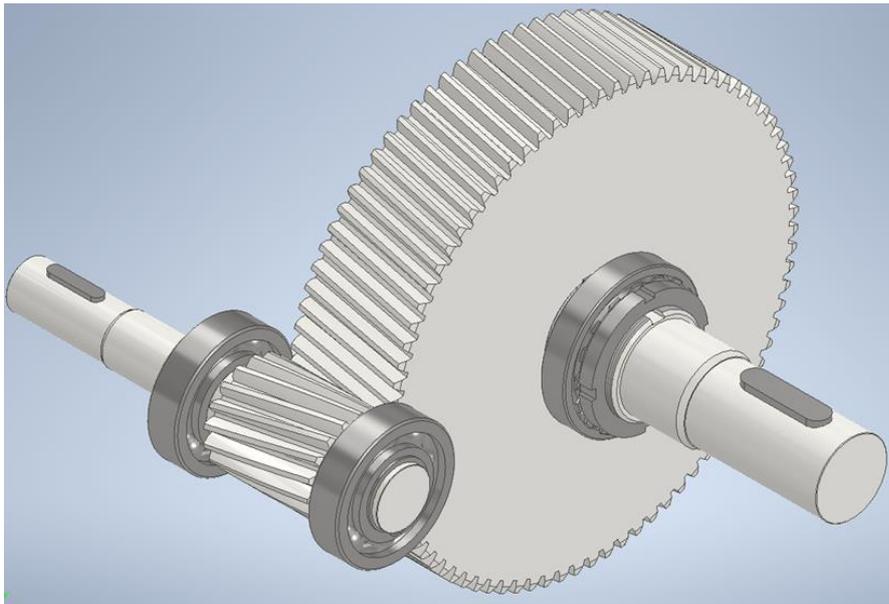


Abbildung 37: Baugruppe „Getriebe_gesamt“ (eigene Darstellung)

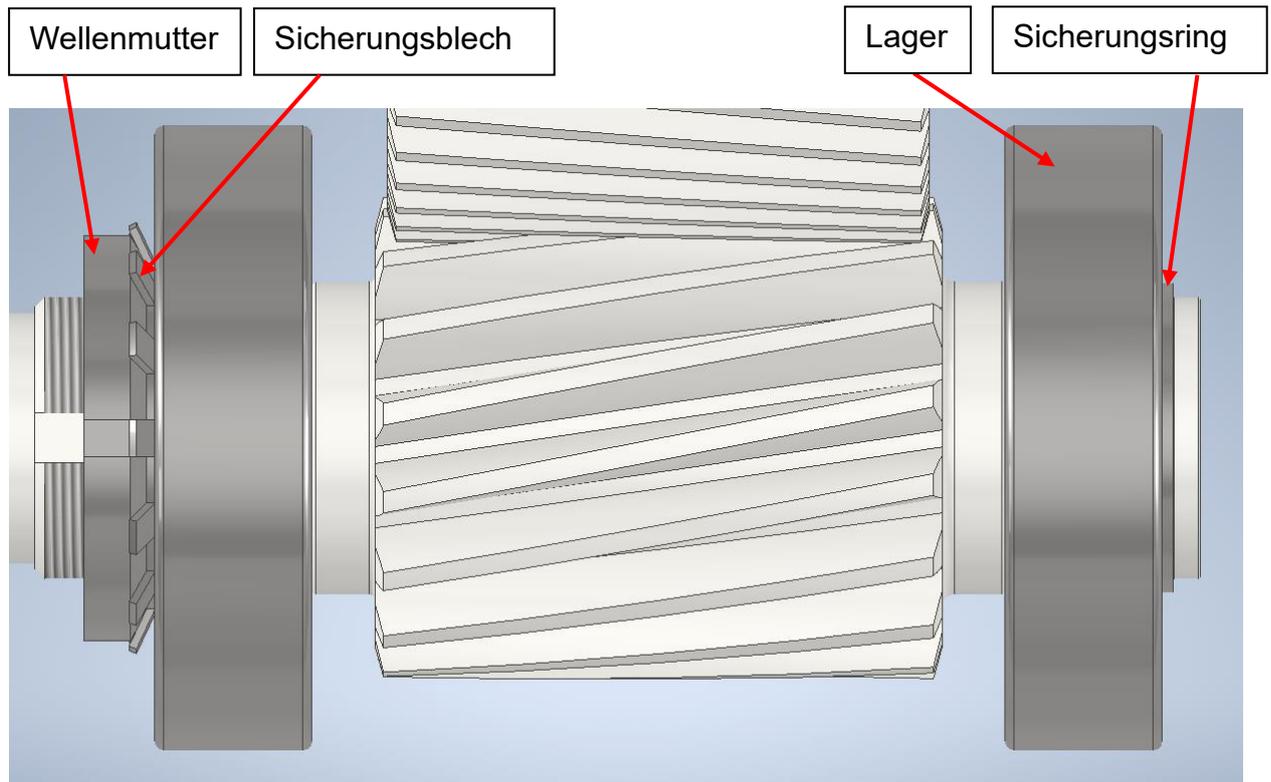


Abbildung 38: Getriebe Normteile (eigene Darstellung)

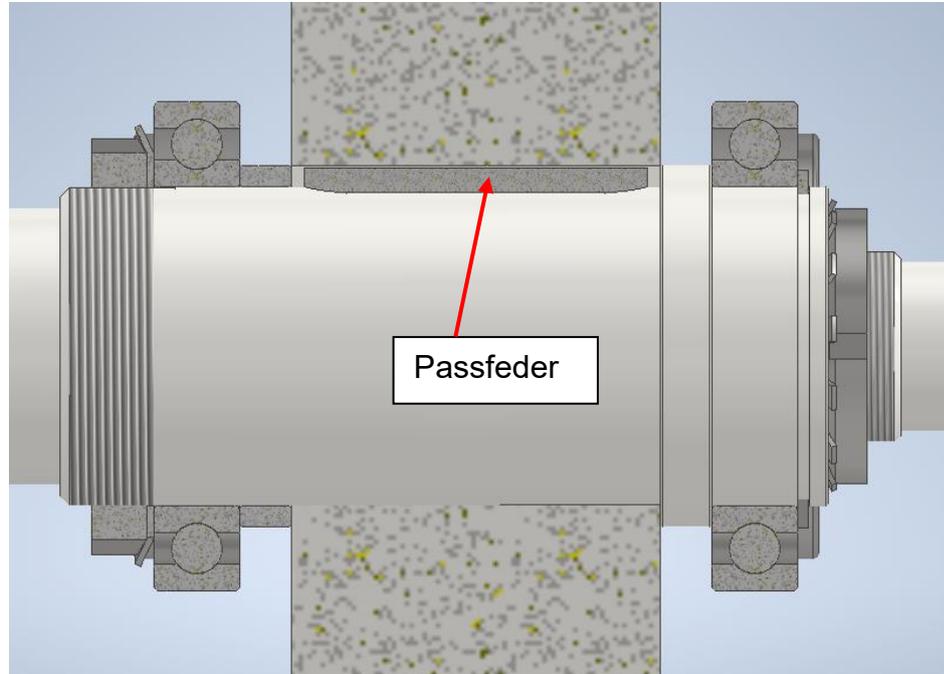


Abbildung 39: Passfederverbindung von Abtriebswelle und Zahnrad (eigene Darstellung)

2.4.3 Gehäuse + Normteile

Fertigungsablauf

Unterteil und Oberteil fertigen und verschweißen -> Bohrungen für Einlassschraube und Auslassschraube, Schauglas und Bohrungen für Passstifte -> Planfräsen an den Flächen an denen Oberteil und Unterteil mit den Passstiften verbunden werden und die 4 Auflagen des Unterteils um einen geraden Stand zu gewährleisten -> Oberteil und Unterteil mit Passstiften fixieren -> Bohrungen zum Versschrauben von Oberteil mit Unterteil herstellen-> Unterteil mit Oberteil verschrauben-> Planfräsen der Flächen an denen die Lagerdeckel verschraubt werden, Bohrungen für Lager ausspindeln und Bohrungen für Lagerdeckel fertigen

2.4.3.1 Unterteil

2.4.3.1.1 Bodenplatte

Das Bauteil „Bodenplatte“ erstellen.

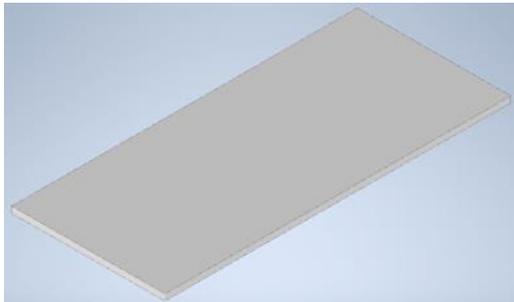


Abbildung 41: Bodenplatte (eigene Darstellung)

2.4.3.1.2 Seitenwand (unbearbeitet)

2.4.3.1.2.1 Seitenwand (Hälfte)

Das Bauteil (Weldment.iam) „Seitenwand“ erstellen.

Die Fasen sind dazu da, um das Bauteil später zu verschweißen.

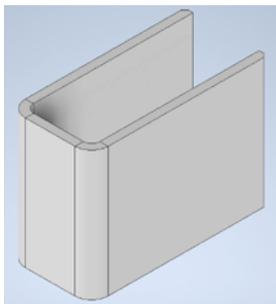


Abbildung 42: Seitenwand (Hälfte) (eigene Darstellung)

2.4.3.1.2.2 Seitenwand zusammenfügen

Die Baugruppe „Seitenwand_Bearbeitet“ erstellen.

Bearbeitet wird die Seitenwand erst später da zuerst die Lagerblöcke konstruiert werden müssen, um die Maße für die Ausnehmungen an der Seitenwand zu kennen. In dieser Baugruppe das Bauteil „Seitenwand“ 2mal einfügen und zueinander abhängig machen.

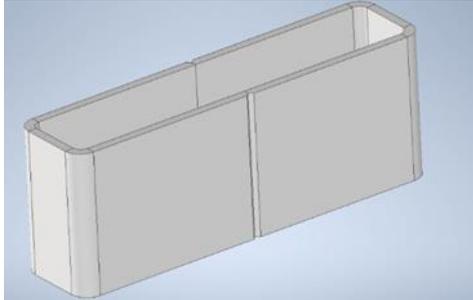


Abbildung 43: Seitenwand (unbearbeitet) (eigene Darstellung)

2.4.3.1.3 Lagerblock

Es wird das Bauteil „Lagerblock“ erstellt.

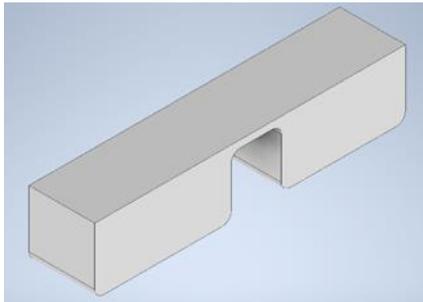


Abbildung 44: Lagerblock (eigene Darstellung)

2.4.3.1.4 Seitenwand (bearbeitet)

In der Baugruppe „Seitenwand_Bearbeitet“ müssen nun Ausnehmungen konstruiert werden. Diese Ausnehmungen sind dafür da, um später die Lagerblöcke einzulegen und miteinander zu verschweißen.

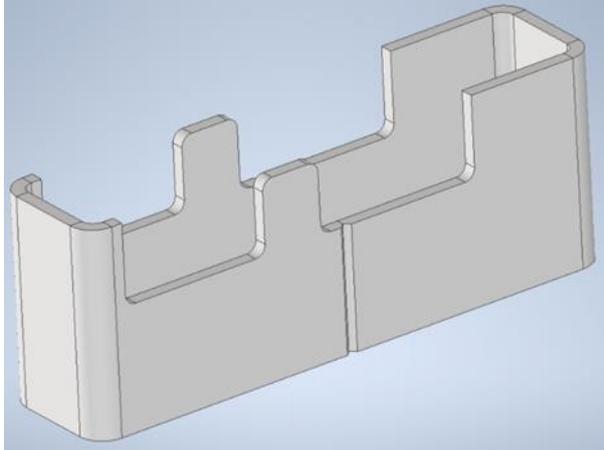


Abbildung 45: Seitenwand (bearbeitet) (eigene Darstellung)

2.4.3.1.5 Flansch

Der Flansch ist dafür da, um später das Gehäuse Unterteil mit dem Gehäuse Oberteil zu verschrauben.

2.4.3.1.5.1 Flansch (kurz)

Das Bauteil „Flansch“ erstellen. Dies ist der kürzere Flansch, da er auf der Ritzelwellen Seite liegt und hier das Zahnrad nicht so groß ist. Somit ist auch der Abstand zum Gehäuse geringer, im Gegensatz zur Abtriebswelle welche mit dem großen Zahnrad verbunden ist.

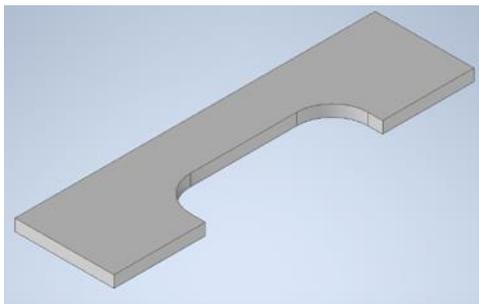


Abbildung 46: Flansch (kurz) (eigene Darstellung)

2.4.3.1.5.2 Flansch (lang)

Das Bauteil „Flansch_lang“ erstellen.

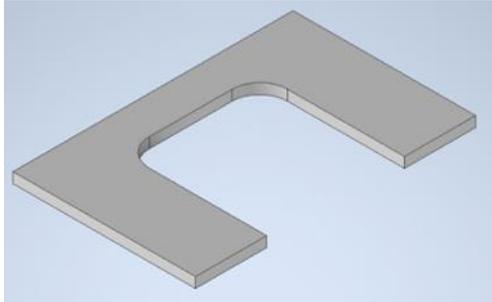


Abbildung 47: Flansch (lang) (eigene Darstellung)

2.4.3.1.6 Stützen

Insgesamt gibt es 4 Stützen, die am Unterteil verschweißt werden, um dem Gehäuse mehr Stabilität zu gewährleisten.

Es wird das Bauteil „Stütze“ erstellt.

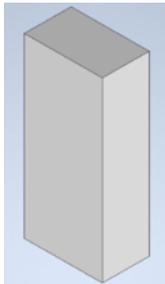


Abbildung 48: Stütze (eigene Darstellung)

2.4.3.1.7 Auflage

Das Bauteil „Auflage“ erstellen.

Um einen geraden Stand des Getriebes zu gewährleisten.

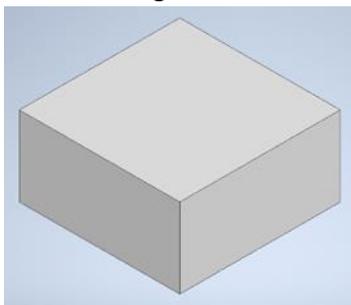


Abbildung 49: Auflage (eigene Darstellung)

2.4.3.1.8 Zusammenfügen und verschweißen des Unterteils

Die Baugruppe „Gehäuse_Unterteil“ erstellen. In diese Baugruppe werden alle zuvor konstruierten Bauteile für das Unterteil eingefügt und zueinander abhängig gemacht.

Eingefügte Bauteile:

- Bodenplatte
- Seitenwand_Bearbeitet (Baugruppe)
- Lagerblock 2x
- Stütze 4x
- Flansch
- Flansch_lang
- Auflage 4x

Anschließend wird die Baugruppe in eine Schweißbaugruppe konvertiert und alle Schweißnähte werden erzeugt. In der Schweißbaugruppe müssen die 4 Standfüße nachbearbeitet werden, um einen ebenen Stand zu gewährleisten. Außerdem wird die Fläche, welche später mit dem Oberteil in Kontakt steht, nachbearbeitet und zwei Bohrungen für die Passstifte werden erstellt. Die Bohrungen für Auslassschraube und Schauglas werden ebenfalls direkt in dieser Baugruppe erstellt.

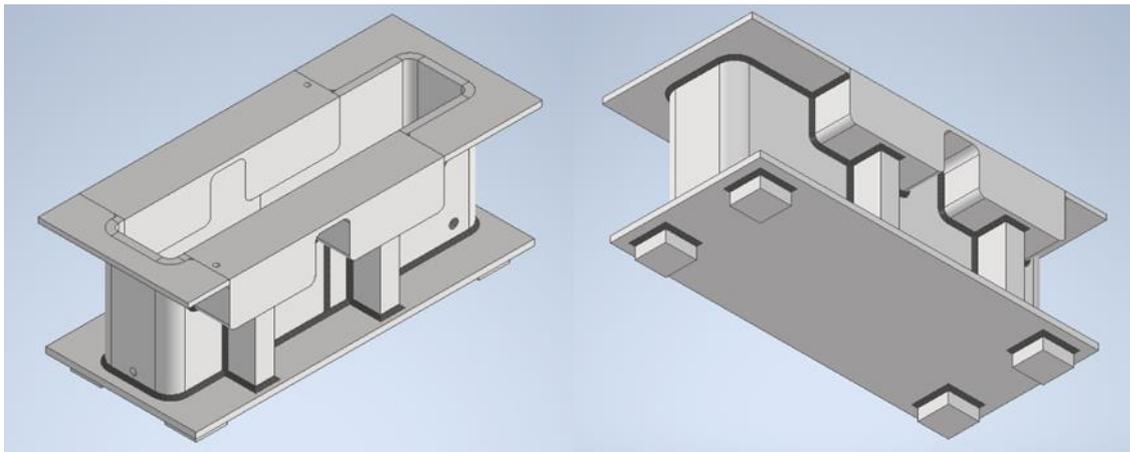


Abbildung 50: Unterteil (eigene Darstellung)

2.4.3.2 Oberteil

2.4.3.2.1 Deckel

Das Bauteil „Deckel“ erstellen.

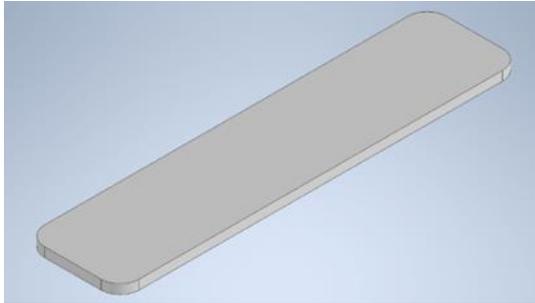


Abbildung 51: Deckel (eigene Darstellung)

2.4.3.2.2 Zusammenfügen und verschweißen des Oberteils

Die Baugruppe „Gehäuse_Oberteil“ erstellen. In diese Baugruppe werden alle zuvor konstruierten Bauteile für das Oberteil eingefügt und zueinander abhängig gemacht. Seitenwand, Lagerblock und Flansch sind gleich wie beim Unterteil.

Eingefügte Bauteile:

- Deckel
- Seitenwand_Bearbeitet (Baugruppe)
- Lagerblock 2x
- Flansch
- Flansch_lang

Anschließend wird die Baugruppe in eine Schweißbaugruppe konvertiert und alle Schweißnähte werden erzeugt. In der Schweißbaugruppe müssen zwei Bohrungen für die Passstifte erstellt werden und die Fläche, welche später mit dem Unterteil in Kontakt steht, muss nachbearbeitet werden. Die Bohrung für die Einlassschraube wird ebenfalls in dieser Baugruppe erstellt.

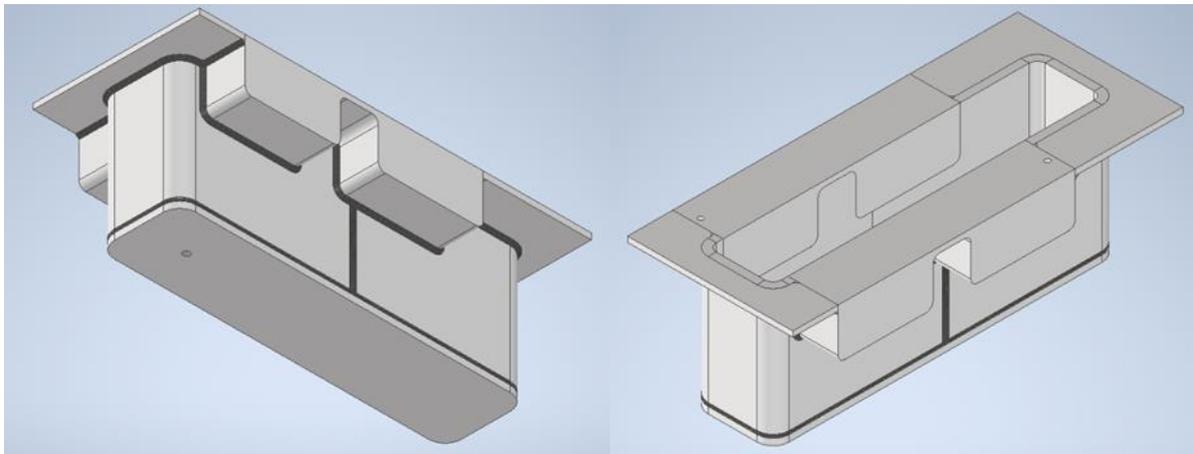


Abbildung 52: Oberteil (eigene Darstellung)

2.4.3.3 Lagerdeckel

Es werden 4 Lagerdeckel konstruiert. Davon sind 2 Lagerdeckel komplett verschlossen und 2 haben eine Bohrung in denen einmal das Wellenende der Ritzelwelle und einmal das Wellenende der Abtriebswelle durchgeht.

2.4.3.3.1 Lagerdeckel für Abtriebswelle

Das Bauteil „AW_Lagerdeckel“ erstellen. Dies ist der komplett verschlossene Lagerdeckel.

Die Nut ist dafür da, um einen O-Ring einzufügen, der den Lagerdeckel mit dem Gehäuse abdichtet. Dies ist bei allen Lagerdeckeln erforderlich.



Abbildung 53: AW-Lagerdeckel (eigene Darstellung)

Das Bauteil „AW_Lagerdeckel_2“ erstellen. Dies ist der Lagerdeckel mit der Bohrung für die Abtriebswelle.

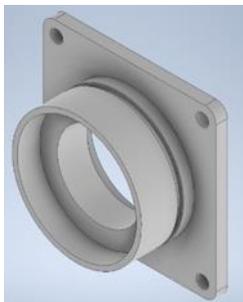


Abbildung 54: AW-Lagerdeckel (mit Bohrung) (eigene Darstellung)

2.4.3.3.2 Lagerdeckel für Ritzelwelle

Das Bauteil „RW_Lagerdeckel“ erstellen. Dies ist der komplett verschlossene Lagerdeckel.



Abbildung 55: RW-Lagerdeckel (eigene Darstellung)

Das Bauteil „RW_Lagerdeckel_2“ erstellen. Dies ist der Lagerdeckel mit der Bohrung für die Ritzelwelle.



Abbildung 56: RW-Lagerdeckel (mit Bohrung) (eigene Darstellung)

2.4.3.4 Gehäuse zusammenfügen

Die Baugruppe „Gehäuse_gesamt“ erstellen.

In dieser Baugruppe werden Oberteil und Unterteil mithilfe der Passstifte zueinander abhängig gemacht. Die Flächen, an denen die Lagerdeckel verschraubt werden, werden nachbearbeitet. Außerdem werden die Bohrungen für die Lager, für die Lagerdeckel sowie die Flanschbohrungen zum Verbinden von Unterteil mit Oberteil erstellt.

Eingefügte Baugruppen:

- Gehäuse_Oberteil
- Gehäuse_Unterteil

Eingefügte Normteile:

- 2x Passstift (passend gewählt)

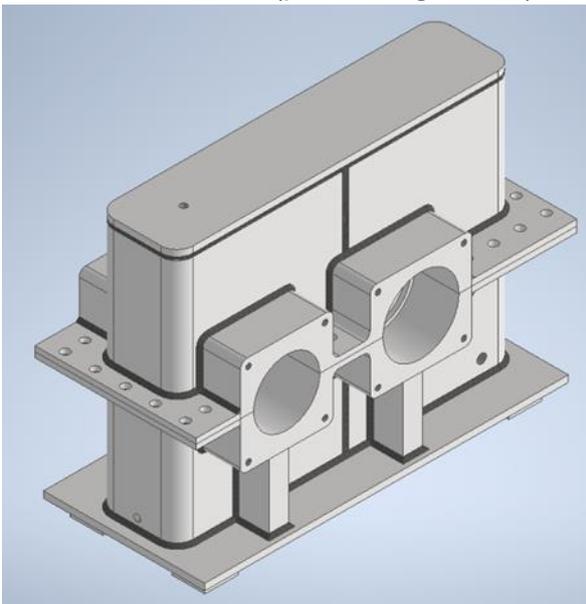


Abbildung 57: Oberteil + Unterteil (eigene Darstellung)

2.4.4 Zusammenbauen des gesamten Getriebes

Die Baugruppe „Zusammenbau“ erstellen.

In diese Baugruppe werden alle Baugruppen, Bauteile und die noch benötigten Normteile eingefügt und abhängig gemacht.

Baugruppen:

- Getriebe_gesamt
- Gehäuse_gesamt

Bauteile:

- AW_Lagerdeckel
- AW_Lagerdeckel_2
- RW_Lagerdeckel
- RW_Lagerdeckel_2

Normteile:

- Innensechskantschraube, Beilagscheibe und Sechskantmutter (passend gewählt)
 - zum Verschrauben von Unterteil mit Oberteil.
- Innensechskantschraube und Beilagscheibe (passend gewählt)
 - zum Verschrauben von den Lagerdeckeln mit Gehäuse
- 4x O-Ring (die Nut dafür ist genormt, (siehe [2.4.5.4](#)))
 - um Lagerdeckel mit Gehäuse abzudichten
- 2x Wellendichtring (Einbaumaße, (siehe [2.4.5.5](#)))
 - um bei den herausragenden Wellenenden die Welle mit dem Gehäuse abzudichten
- 2x Innensechskantschraube und Dichtring (passend gewählt)
 - für Einlass und Auslass des Schmieröls
- Schauglas (passend gewählt)
 - um Ölstand zu kontrollieren

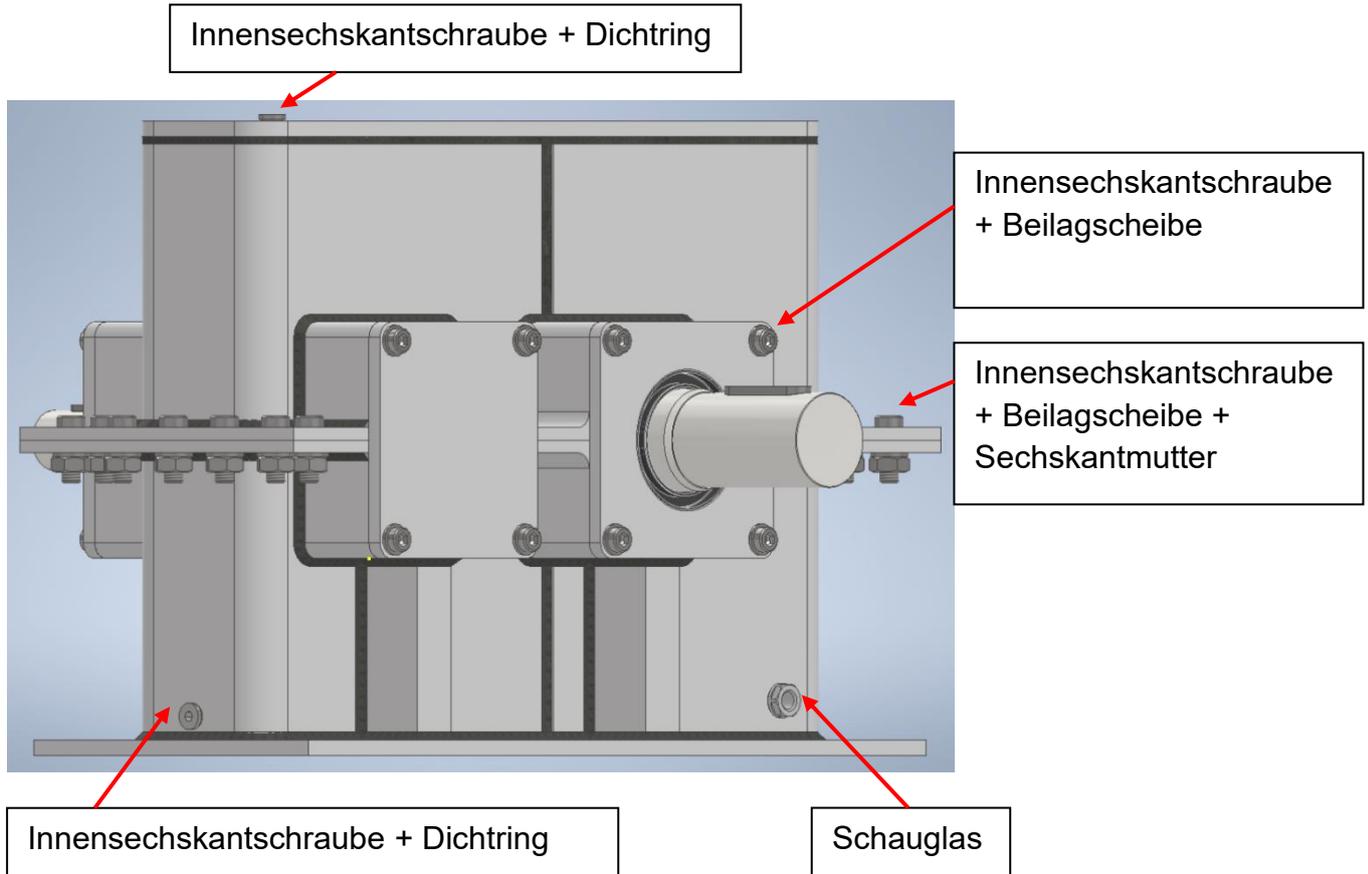


Abbildung 58: Gehäuse Normteile_1 (eigene Darstellung)

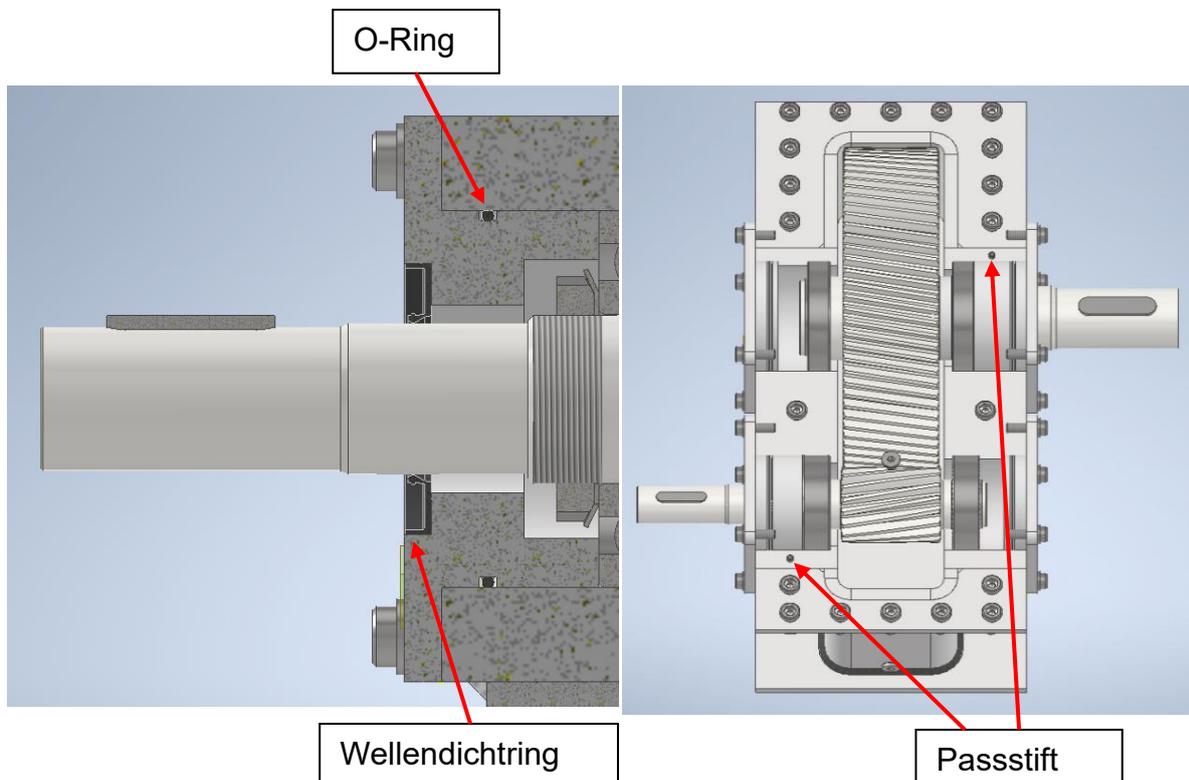


Abbildung 60: Gehäuse Normteile_2 (eigene Darstellung)

Abbildung 59: Gehäuse Normteile_3 (eigene Darstellung)

2.4.4.1 Gliederung der gesamten Konstruktion (ohne Normteile)

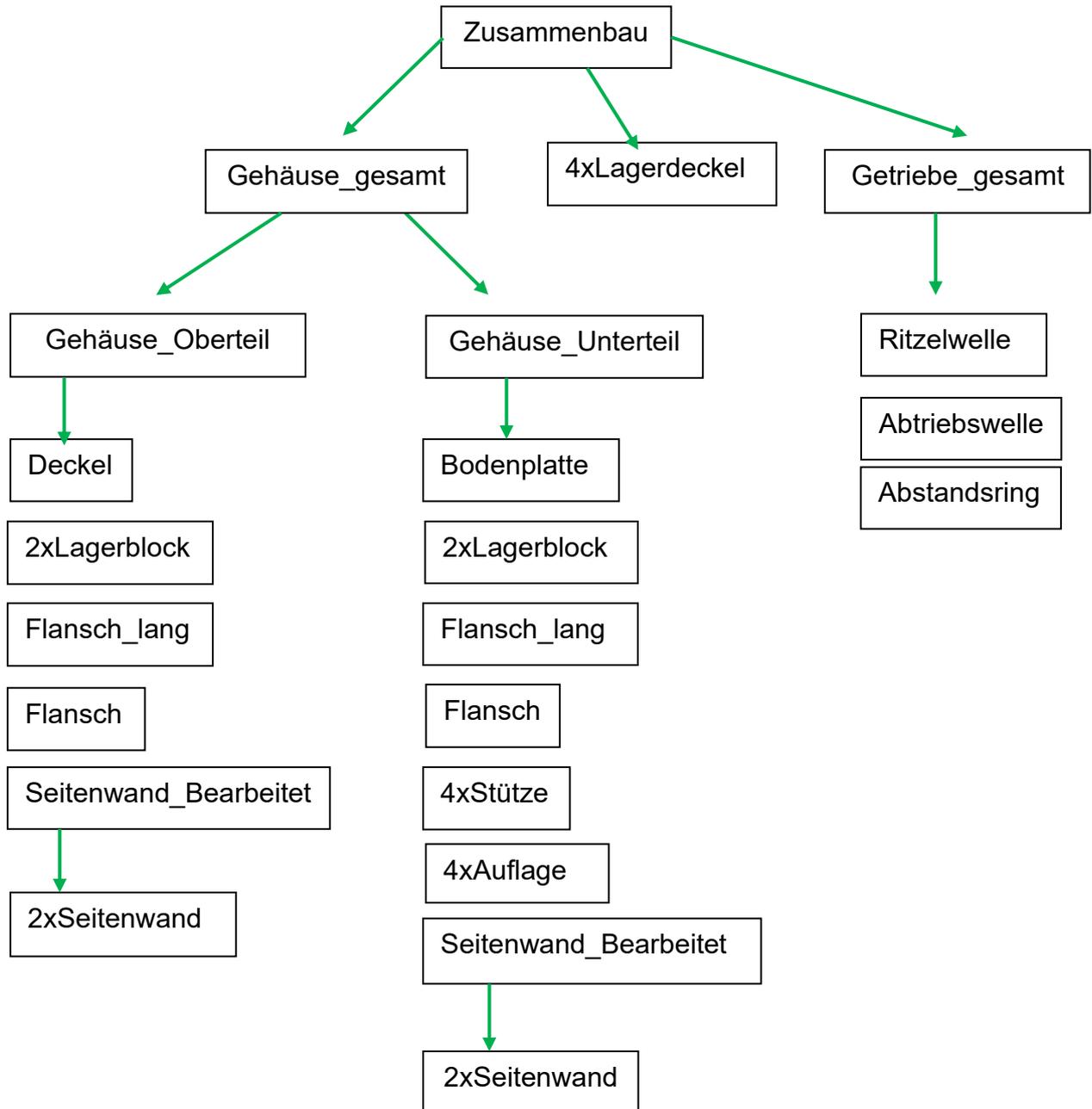


Abbildung 61: Gliederung der Konstruktion (ohne Normteile) (eigene Darstellung)

2.4.5 Berechnungen

2.4.5.1 Wellendurchmesser

Wellendurchmesser: (RM S.393)

$$\begin{aligned}
 M1 &= 346.129 \text{ Nm} \\
 M2 &= 1600 \text{ Nm} \\
 KA &= 1.1 \\
 \tau_{zul} &= 60 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Annahme})
 \end{aligned}$$

Ritzelwelle:

$$\begin{aligned}
 M1_{\max} &= M1 \cdot KA = 380.74 \text{ Nm} \\
 Wp1_{\text{erf}} &= \frac{M1_{\max}}{\tau_{zul}} = 6345.698 \text{ mm}^3 \\
 d1_{\min} &= \sqrt[3]{\frac{Wp1_{\text{erf}} \cdot 16}{\pi}} = 31.85 \text{ mm} \\
 dw1 &= d1_{\min} + \text{Nuttiefe} = 36.85 \text{ mm} \\
 \text{Nuttiefe} &= 5 \text{ mm} \quad (\text{RM TB 12-2})
 \end{aligned}$$

Ausgangswelle:

$$\begin{aligned}
 M2_{\max} &= M2 \cdot KA = 1760.00 \text{ Nm} \\
 Wp2_{\text{erf}} &= \frac{M2_{\max}}{\tau_{zul}} = 29333.33 \text{ mm}^3 \\
 d2_{\min} &= \sqrt[3]{\frac{Wp2_{\text{erf}} \cdot 16}{\pi}} = 53.06 \text{ mm} \\
 dw2 &= d2_{\min} + \text{Nuttiefe} = 59.06 \text{ mm} \\
 \text{Nuttiefe} &= 6 \text{ mm} \quad (\text{RM TB 12-2})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 dw1 &= 38 \text{ mm} & (\text{RM TB 11-1}) \\
 dD1 &= 40 \text{ mm} & (\text{RM TB 19-4}) \\
 dL1 &= 45 \text{ mm} & (\text{RM TB 14-1}) \\
 db1 &= 50 \text{ mm} & (\text{gew.})
 \end{aligned}$$

gew. Wellenende: **DIN 748-1 38k6x80**

$$\begin{aligned}
 dw2 &= 60 \text{ mm} & (\text{RM TB 11-1}) \\
 dD2 &= 65 \text{ mm} & (\text{RM TB 19-4}) \\
 dL2 &= 75 \text{ mm} & (\text{RM TB 14-1}) \\
 db2 &= 85 \text{ mm} & (\text{gew.})
 \end{aligned}$$

gew. Wellenende: **DIN 748-1 60m6x110**

Abbildung 62: Berechnung: Wellendurchmesser (eigene Darstellung)

2.4.5.2 Passfeder

Passfedern: RM S.422; RM TB 12-2

Ritzelwelle:

dw1	=	38 mm			
l _{PF}	=	dw1*1.3	=	49.4 mm	gew. 56 mm
bxh	=	10x8			Passfeder DIN 6885 - A10x8x56

Abtriebswelle:

Wellenende:

dw2	=	60 mm			
l _{PF}	=	dw2*1.3	=	78 mm	gew. 80 mm
bxh	=	18x11			Passfeder DIN 6885 - A18x11x80

Verbindung mit Zahnrad: (

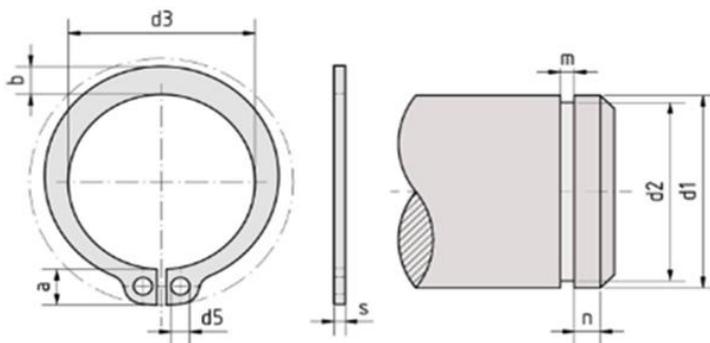
dL2	=	75 mm			
l _{PF}	=	dL2*1.3	=	97.5 mm	(Da die Zahnradbreite nur 86mm beträgt) gew. 80 mm
bxh	=	20x12			Passfeder DIN 6885 - A20x12x80

Abbildung 63: Berechnung: Passfeder (eigene Darstellung)

2.4.5.3 Sicherungsring-Einbaumaße

Sicherungsring: <https://hc-maschinentechnik.de/Sicherungsring>

DIN 471 Sicherungsring (für Wellen)



Ritzelwelle:

d1	=	45 mm
d2	=	42.5 mm
m	=	1.85 mm
n	=	2.8 mm

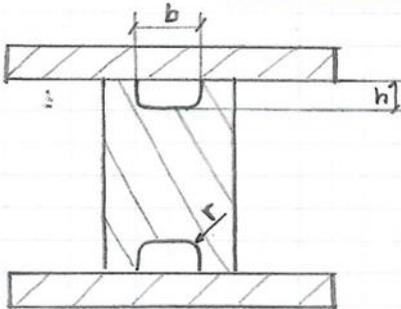
Ausgangswelle:

d1	=	75 mm
d2	=	72 mm
m	=	2.65 mm
n	=	4.5 mm

Abbildung 64: Berechnung: Sicherungsring-Einbaumaße (eigene Darstellung)

2.4.5.4 O-Ring-Einbaumaße

O-Ring Einbaumaße



Ritzelwelle:

$$\begin{aligned} SD &= 3,55 \text{ mm} \\ b &= 4,8 \text{ mm} \\ h &= 2,8 \text{ mm} \\ r &= 0,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

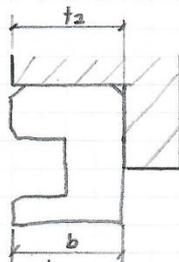
Ausgangswelle:

$$\begin{aligned} SD &= 3,55 \text{ mm} \\ b &= 4,8 \text{ mm} \\ h &= 2,8 \text{ mm} \\ r &= 0,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

Abbildung 65: Berechnung: O-Ring-Einbaumaße (eigene Darstellung)

2.4.5.5 Wellendichtring-Einbaumaße

Dichtungsring Einbaumaße RM 5.747



$$t_2 = b + 0,3$$

Ritzelwelle:

$$\begin{aligned} t_2 &= 7 + 0,3 = 7,3 \text{ mm} \\ d &= 72 \text{ mm} \end{aligned}$$

Ausgangswelle:

$$\begin{aligned} t_2 &= 10 + 0,3 = 10,3 \text{ mm} \\ d &= 90 \text{ mm} \end{aligned}$$

Abbildung 66: Berechnung: Dichtungsring-Einbaumaße (eigene Darstellung)

2.5 PDM- und PLM-System

2.5.1 Definition

2.5.1.1 PDM

= Product Data Management (Produktdatenmanagement)

PDM ist ein Tool für Design und Engineering, das sich auf die Verwaltung und Kontrolle von Produktdaten konzentriert. Dieses hängt mit den unterschiedlichen Phasen des Produktlebenszyklus zusammen. Dazu gehören z.B. CAD³⁰-Dateien, technische Dokumentationen und Stücklisten. Den Unternehmen hilft es dabei, präzise Produktdaten zu verknüpfen, zu synchronisieren und eine effektive Zusammenarbeit zu ermöglichen. Es ist unabhängig davon, ob das Team global verteilt oder an einem einzelnen Standort arbeitet.

2.5.1.2 PLM

= Product Lifecycle Management (Produktlebenszyklusmanagement)

PLM hat einen umfassenderen Ansatz, der den gesamten Lebenszyklus eines Produkts abdeckt. Von der Idee bis zur Ausmusterung. Deshalb wird PDM als Teilbereich von PLM angesehen. Während sich PDM hauptsächlich auf die Entwicklungs- und Konstruktionsphasen konzentriert, schließt PLM auch die Fertigung, die Lieferkette, den Betrieb sowie die Produktausmusterung mit ein. Ziel von PLM ist eine durchgängige Integration von Menschen, Daten, Prozessen und Unternehmenssystemen.

2.5.2 Entwicklung

2.5.2.1 PDM

PDM-Systeme entstanden aus der Idee, bestehende und neue IT³¹-Lösungen direkt miteinander zu integrieren. Besonders für die Daten der eingesetzten CAD- und CAM³²-Programme gab es den Bedarf, diese effizient zu verwalten. Zunächst jedoch nur lokal auf den einzelnen Rechnern. Mit der Weiterentwicklung kamen serverbasierte Systeme hinzu, die vor allem den Engineering-Bereich unterstützten und sich auf abteilungsspezifische Entwicklungs- und Konstruktionsaufgaben beschränkten. Eine der zentralen Aufgaben von PDM ist das Workflow-Management, das den Freigabeprozess von 3D³³-Konstruktionen und Zeichnungen organisiert. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Verwaltung und Archivierung von CAD-Daten. Da technische Dokumente oft bis zu 30 Jahre verfügbar bleiben müssen, sorgt PDM für deren langfristige Aufbewahrung. Um sicherzustellen, dass die Daten auch in der Zukunft lesbar sind, erfolgt neben dem nativen Dateiformat auch eine

³⁰ Computer Aided Design

³¹ Information Technology

³² Computer Aided Manufacturing

³³ Dreidimensional

Langzeitarchivierung der 2D³⁴- und 3D-Daten im neutralen Step³⁵-Format sowie der 2D-Zeichnungen im PDF³⁶-Format.

PDM-Grundfunktionen:

- Dokumentmanagement
- Verwaltung von Stamm- und Strukturdaten
- Projektmanagement
- Workflow-Management
- Freigabe- und Änderungsmanagement
- Viewing und Redlining
- Publishing
- Archivierung und Backup
- Daten-Replikation
- Datenintegration

2.5.2.2 PLM

PLM ist eine Lösungsstrategie, die mehrere IT-Systeme integriert. Damit versucht man die Lücke zwischen Unternehmens- und Produktentwicklungsprozess zu schließen. Hierbei geht es um die Erfassung, Organisation und Wiederverwendung von Wissen.

PLM Art	Merkmale
PLM und CAD als Einheit	CAD-System ist fix mit PLM-System verbunden (beide Systeme von einem Hersteller)
PLM und Multi-CAD	PLM-Lösung funktioniert mit mehreren CAD-Systemen (optimale Integration ist in hauseigenem CAD-System)
PLM als Einzelprogramm + Multi-CAD	PLM-Lösung wird von einer Firma angeboten, die kein eigenes CAD entwickelt.

Tabelle 5: PLM Art (eigene Darstellung)

Fast alle PLM-Systeme nutzen das Internet zur Datenübertragung. Hierbei gibt es Unterschiede in Bezug auf die Datenspeicherung. Die Daten können auf unternehmenseigenen Servern oder auf Cloud-Diensten gespeichert werden. Unternehmen, die Teil einer Zulieferungskette sind speichern meistens auf unternehmenseigenen Servern, da hier die Sicherheitsaspekte besser sind. Für Start-Ups und Bildungsinstitute sind Cloud-Dienste eine gute Option.

³⁴ Zweidimensional

³⁵ Standard for the Exchange of Product Data

³⁶ Portable Document Format

2.5.3 Bsp. PLM-Riesenrad

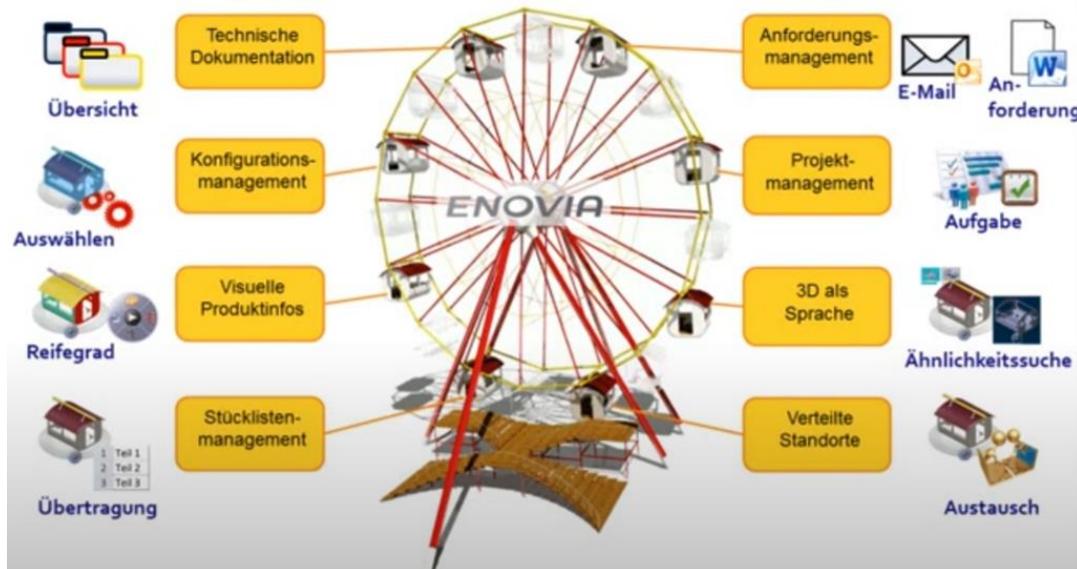


Abbildung 67: PLM-Riesenrad

Szenario: Gondel von 5 auf 6 Plätze vergrößern

1. Anforderung wird von Kunde per Mail an Projektleiter gesendet
2. Projektleiter erstellt neue Aufgabe und weist sie dem Konstrukteur zu
3. Konstrukteur verändert die Gondel mithilfe der 3D Ähnlichkeitssuche
4. Nachdem er die Änderung vollzogen hat, tauscht er sich mit Entwicklungsleiter (welcher an anderem Standort sitzt) aus
5. Konstrukteur arbeitet an Stückliste und informiert Projektleiter darüber
6. Projektleiter möchte visuellen Eindruck bekommen
7. Danach kann Projektleiter eine Konfiguration an der Gondel übernehmen
8. Dokumentation (Anforderungen, Prozess, Änderung, Stücklistenmanagement, Reifegrad, Konfiguration)

2.5.4 Anwendung im Inventor

2.5.4.1 Einzelbenutzerprojekt

Der Arbeitsbereich wird lokal auf dem Computer eingerichtet, und die Projektdatei wird im Format „.ipj³⁷“ gespeichert. Alle Konstruktionsdateien sind in einem Ordner für den Arbeitsbereich abgelegt, einschließlich der Unterordner, mit Ausnahme der Dateien, die von Bibliotheken referenziert werden. Innerhalb des Arbeitsbereichs können neue Dateien erstellt und bestehende bearbeitet werden, ohne diese ein- oder auszuchecken. Da man selbst der einzige Benutzer ist, der auf die Dateien zugreifen kann, steht der Dateistatus-Browser nicht zur Verfügung.

2.5.4.2 Autodesk Vault Basic-Projekte

In Vault-Projekten werden oft genutzte Dateien in einem sicheren Tresor abgelegt, auf den nicht direkt zugegriffen wird. Der Tresor speichert dabei ein Versionsprotokoll sowie weitere Dateiattribute.

Für die Arbeit an einem Vault-Projekt ist Autodesk Vault erforderlich. Bevor man mit einer Modelldatei arbeiten kann, muss man zunächst Autodesk Vault installieren und ein Vault-Projekt einrichten.

Merkmale von Vault-Projekten:

- Ein Vault-Projekt umfasst einen Arbeitsbereich sowie eine oder mehrere Bibliotheken.
- Die Version einer Datei im Tresor kann von den Konstrukteuren weder angezeigt noch direkt bearbeitet werden.
- Jeder Konstrukteur muss Dateien auschecken, um sie anzuzeigen oder zu bearbeiten. Beim Auschecken wird eine Kopie der Datei in den persönlichen Arbeitsbereich übertragen, der durch ein individuelles Projekt definiert ist. Wenn die bearbeiteten Dateien wieder eingchecked werden, sind sie für andere Teammitglieder zugänglich.
- Man kann die Dateien im Arbeitsbereich aktualisieren, um die neuesten Versionen von Dateien zu erhalten, die von anderen Konstrukteuren geändert und eingchecked wurden.
- Autodesk Vault verwaltet alle vorherigen Versionen der eingcheckeden Dateien. Es wird eine Datenbank geführt, die Ergänzungen zum Bearbeitungsverlauf, Dateieigenschaften und Dateiabhängigkeiten speichert.
- Um Probleme bei der Auflösung von Dateien zu vermeiden, verwenden die Projekte relative Pfade, die sich auf den Speicherort der Projektdatei beziehen (wie .\ oder .\Arbeitsbereich), anstatt absolute Pfade.
- Auf diese Weise kann man nach Dateieigenschaften suchen, Dateiverknüpfungen nachverfolgen und frühere Konfigurationen abrufen.

³⁷ Inventor-Projektdatei

- Arbeitsgruppensuchpfade sind nicht verfügbar. Stattdessen werden alle Projektordner in einem einzigen Suchpfad innerhalb des Arbeitsbereichs zusammengefasst. Der Arbeitsbereich ist der lokale Ordner, der dem entsprechenden Ordner im Tresor zugeordnet ist. Dieser kann entweder ein einzelner Ordner oder eine hierarchische Struktur von Unterordnern sein, um das Projekt zu organisieren.
- Bei Vault-Projekten ist die Verwendung eines sekundären Pfads nicht vorgesehen. Man sollte es vermeiden, einen sekundären Pfad zu nutzen, und stattdessen den Tresor zur Verwaltung der Dateien einsetzen.
- Vault-Projekte bieten Funktionen wie Datenbankabfragen, Zugriff auf frühere Konfigurationen und andere nützliche Werkzeuge.

2.6 FINITE-Elemente Berechnung des Getriebes (Pabisch Florian)

2.6.1 Erläuterung der Software-Pakete

Die verwendeten Softwarepakete werden von der HTL-Weiz zur Verfügung gestellt. Die Software von ANSYS³⁸ wird in der 4. Klasse der Abteilung Maschinenbau-Anlagentechnik im Labor verwendet. Die NASTRAN-Software³⁹ wird im „normalen“ Schulalltag nicht verwendet. Diese steht den Schülerinnen und Schülern jedoch auch kostenlos zur Verfügung, da diese in der Autodesk-Lizenz⁴⁰ inkludiert ist.

2.6.1.1 ANSYS Workbench 2024 R2

Der Softwareanbieter ANSYS bietet ein großes Spektrum an FE-Simulationsprogrammen. Sämtliche Bauteile, Volumenkörper, Strömungen, Balkenmodelle etc., können mit Hilfe der Direktschnittstelle des step-Formates⁴¹ implementiert und simuliert werden. Dies bietet die perfekte Möglichkeit, um auftretende Kräfte, Spannungen und auch Verformungen, unter der Eingabe von definierten Randbedingungen, grafisch darzustellen und sichtbar zu machen.



Abbildung 68: ANSYS Workbench 2024 R2 (eigene Darstellung)

2.6.1.2 NASTRAN 2024

Der CAD-Softwareanbieter Autodesk, bietet ein weites Spektrum an 3D Modellierungsprogrammen an. Im schulischen Gebrauch wird ausschließlich der Autodesk-Inventor verwendet. Dieser beinhaltet automatisch das Softwarepaket der Inventor-Bauteilanalyse. Die ergänzende NASTRAN-Software steht, wie auch der Inventor, online auf der Homepage zum Download, zur Verfügung. Es ist keine manuelle Verknüpfung durch den Benutzer notwendig, da die Software nach der Installation automatisch im Inventor integriert wird. Die Funktion der NASTRAN-Analyse ist unter dem gleichen Menü, in der Menüleiste aufzufinden, in der auch die Bauteilanalyse gestartet wird.

³⁸ FINITE-Elemente Berechnungsprogramm

³⁹ FINITE -Elemente Berechnungsprogramm von Autodesk

⁴⁰ Lizenz, die von der Schule zur Verfügung gestellt wird diese beinhaltet NASTRAN und Inventor

⁴¹ ist ein Datei-Typ, der zu sehr vielen Softwares eine Schnittstelle besitzt

2.6.2 Allgemeines zur FINTINE-Elemente Analyse

Die FINITE Elemente Analyse oder auch genannt FE oder FEM Analyse bietet ein weites Spektrum an Anwendungsmöglichkeiten. Sie kommt vor allem im Ingenieurwesen zum Einsatz. Die Berechnungsmethode basiert auf einem leistungsfähigen, numerischen Verfahren zur Lösung von Differentialgleichungen. Sie ermöglicht die numerische Berechnung, die Simulation und die Analyse des Verhaltens von Bauteilen unter verschiedenen Lasten und Randbedingungen. Dies umfasst Festigkeitsprobleme im plastischen und elastischen Bereich aller Art, inklusive von Stabilitätsproblemen. Die Grundlage dazu besteht darin, dass im Vorhinein alle Randbedingungen und Parameter festgelegt werden müssen, und die Art der Analyse ausgesucht wird. (vgl. (Wikipedia, 2025) & (Dubbel, 1981))

2.6.3 Mesh (Netz)

Damit die Berechnung der einzelnen Punkte/Elemente durchgeführt werden kann, muss ein sogenanntes Mesh generiert werden. Dies diskretisiert ein Bauteil auf endlich viele Elemente. In diesen werden dann Funktionen zur Beschreibung der physikalischen Eigenschaften dieses Elements aufgestellt. Das Mesh kann entweder in Tetraeder oder Hexaeder erstellt werden. Beim Erstellen des Meshs ist es wichtig, auf den Feinheitsgrad des Meshs zu achten. Die Feinheit des Meshs hat eine große Auswirkung auf das Ergebnis.

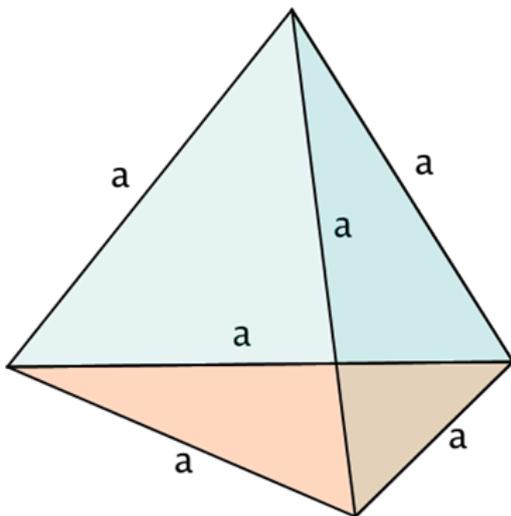


Abbildung 69: Tetraeder (Serlo, 2025)

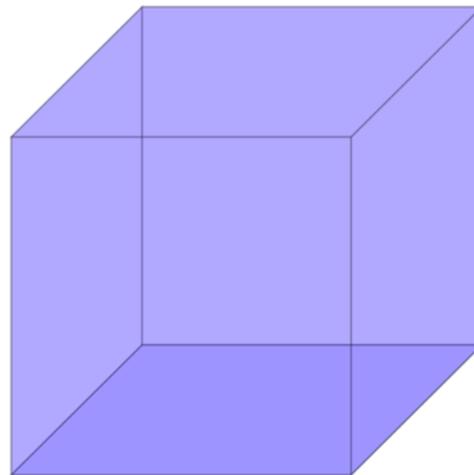


Abbildung 70: Hexaeder (matteboken, 2025)

2.6.4 Berechnungsweise

Die einzelnen FE-Analyse Programme basieren ihre Berechnungen auf einzelnen Punkten und Elementen, die entweder in Hexaeder- oder Tetraederform des Meshs vorkommen. Deswegen, diese zwei speziellen Formen, da sich von diesen, aufgrund der einfachen Geometrie die Berechnung leichter durchführen lässt (vgl. (Wikipedia, 2025)). Die linearen Gleichungssysteme, die durch die Differenzialgleichungen entstehen, werden zwecks der Übersichtlichkeit in Matrixform aufgestellt. Um das numerische Lösen der Gleichungen zu vereinfachen, werden zwei verschiedene Methoden angewandt.

2.6.4.1 LU-Verfahren

Dieses leistungsstarke Verfahren hilft ein lineares Gleichungssystem in der numerischen Mathematik effizient zu lösen. Das LU-Verfahren zerlegt die Matrix der Gleichung in das Produkt einer oberen und unteren Dreiecksmatrix. Das L steht für das englische Wort „lower“ und das U für das englische Wort „upper“. (vgl. (StudySmarter, 2025))

2.6.4.2 GMRES-Algorithmus

Das GMRES-Verfahren (für Generalized minimal residual method) ist ein iteratives numerisches Verfahren zur Lösung großer, dünnbesetzter linearer Gleichungssysteme. Das Verfahren ist aus der Klasse der Krylow-Unterraum-Verfahren und insbesondere auch für nicht-symmetrische Matrizen geeignet. In exakter Arithmetik, also wenn ohne Rundungsfehler gerechnet wird, liefert das Verfahren nach endlich vielen Schritten die exakte Lösung. Interessanter ist es jedoch als näherungsweise Verfahren, da es mit einer geeigneten Vorkonditionierung auch Gleichungssysteme mit Millionen Unbekannten in wenigen Iterationen mit befriedigender Genauigkeit lösen kann. Damit stellt es eine Art Black-Box-Löser für dünnbesetzte lineare Gleichungssysteme dar. Es wurde 1986 von Yousef Saad und Martin H. Schultz entwickelt. (Wikipedia, 2025)

2.6.5 Geometriebeschreibung

2.6.5.1 Volumenmodell

Das Volumenmodell ist das Modell, das direkt aus dem Inventor entnommen und aufbereitet wird. Bei den Getriebewellen ist das Zahnrad vorhanden und die Kräfte werden auf den Zahnflanken aufgebracht.

2.6.5.2 Balkenmodell

Das Balkenmodell wird nur in der ANSYS-Analyse verwendet. Dieses besteht im Hintergrund aus einer txt-Datei. In dieser txt-Datei sind alle wichtigen Daten der Getriebewellen vorhanden. Der größte Unterschied zum Volumenmodell ist, dass die Kräfte nicht an den Zahnflanken angebracht werden, sondern auf der Wellenachse.

2.6.6 Einführung in NASTRAN durch ein Rundstab-Beispiel

2.6.6.1 Allgemein

Der Rundstab wurde als eine Grundgeometrie gewählt, da dies eine sehr einfache Geometrie ist, und eine sehr leichte und schnelle händische Nachrechnung ermöglicht.

2.6.6.2 Durchführung der Analyse

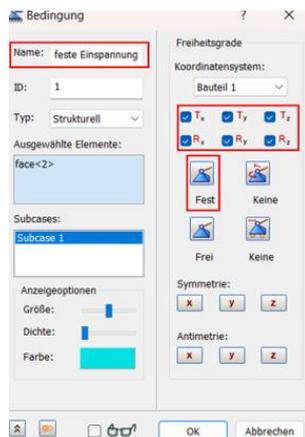


Abbildung 71: Bedingung der festen Einspannung (eigene Darstellung)

Als ersten Schritt wurde der Rundstab konstruiert. Danach wird unter den „iProperties“ der Werkstoff eingestellt, in diesem Fall Stahl. Nun wird unter „Umgebung“ die NASTRAN Analyse gestartet. Als nächstes wird die Netzfeinheit eingestellt. Beim Rundstab wurde eine Feinheit von 2mm gewählt. Um ein Ende zu fixieren, wurde auf die Stirnfläche eine feste Einspannung angebracht, die Kraft dann an der anderen Stirnfläche. Die Größe der Kraft wurde einfach angenommen. In diesem Beispiel ist die Kraft 3000N. Nachdem

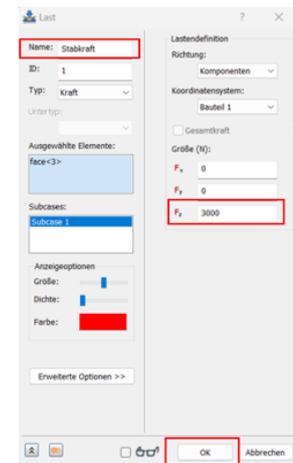


Abbildung 72: Kraftkomponenten (eigene Darstellung)

alle Randbedingungen definiert worden sind, kann die Simulation gestartet werden. Für das Ergebnis wurde die „SOLID PRINCIPAL A STRESS⁴²“ ausgewertet.

2.6.6.3 Nachrechnung in Excel

Berechnung des Rundstabes		Parameter	
1. Berechnung des Biegemoments M_b		$l = 120 \text{ mm}$	Länge des Rundstabes
$M_b = 360000 \text{ Nmm}$	$M_b = F \cdot l$	$d = 20 \text{ mm}$	Durchmesser des Rundstabes
$M_b = 360 \text{ Nm}$		$F = 3000 \text{ N}$	angebrachte Gewichtskraft
2. Berechnung des Widerstandsmoments W_x			
$W_x = 785 \text{ mm}^3$	$W_x = \frac{d^3 \cdot \pi}{32}$		
3. Berechnung der Biegespannung σ_{ver}			
$\sigma = 458.4 \text{ N/mm}^2$	$\sigma = \frac{M_b}{W_x}$		

Abbildung 73: Nachrechnung des Rundstabs in Excel (eigene Darstellung)

2.6.6.4 Fehlerquelle

Die Fehlerquelle liegt hier in der Einspannung. Dies liegt daran, da der Rundstab in diesem Punkt fest eingespannt ist. Dadurch tritt in der Simulation eine höhere Spannung auf. Das Ergebnis der Analyse ist eine Spannung von 546.2 N/mm² und bei der Nachrechnung in Excel ist das Ergebnis eine Spannung von 458.2 N/mm².

⁴² 1. Hauptnormalspannung

2.6.7 Aufbereitung der Volumen- und Balkenmodelle

2.6.7.1 ANSYS

2.6.7.1.1 Ritzel- und Abtriebswelle inklusive Stirradstufe (Volumenmodell)



Abbildung 74: Flächen löschen (eigene Darstellung)

Das zu analysierende Bauteil wird im ersten Schritt vereinfacht, das heißt, dass sämtliche nicht relevanten Rundungen und Fasen entfernt werden (Befehl „Fläche löschen“, WICHTIG: „Restflächen korrigieren“). Hinzu kommt, dass Passfedernuten, Gewinde etc. entfernt werden müssen. Schritt zwei ist, das Trennen an den Lagerabsätzen von

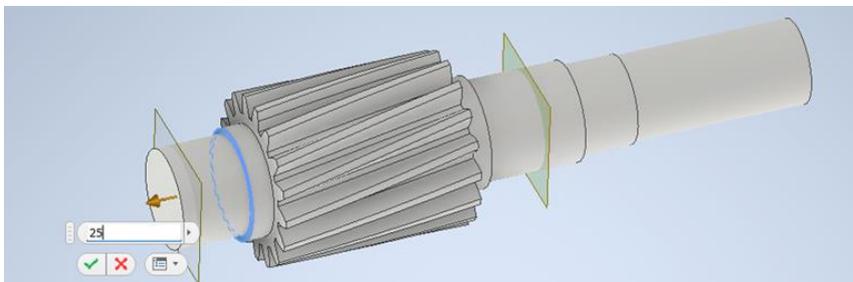


Abbildung 75: Ebenen für die Lagerstellen (zum Trennen) (eigene Darstellung)

Lagerauflagefläche und dem restlichen Wellenabsatz. Hierfür werden einfach mit der Funktion „Versatz von Ebene“ an den jeweiligen Lagerbreiten Ebenen eingefügt.

Diese eingefügten

Ebenen dienen dafür, dass in weiterer Folge mit der Funktion „Trennen“, der Wellenabsatz in zwei separate Abschnitte aufgetrennt wird. Als dritten Schritt wird

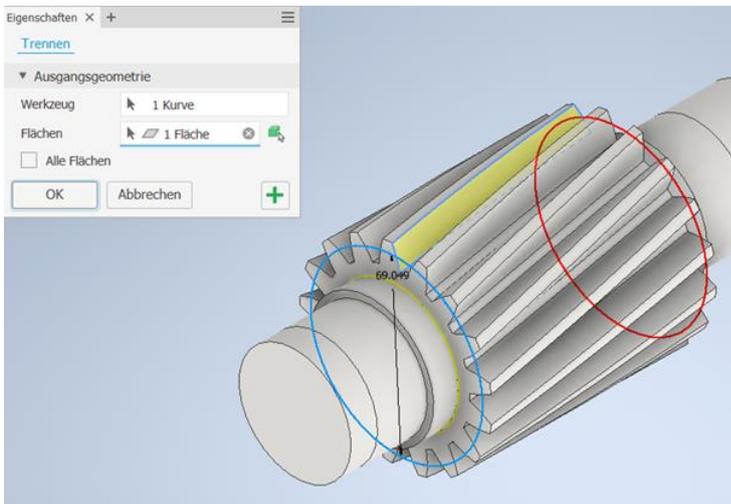


Abbildung 76: Teilkreis trennen (eigene Darstellung)

dann eine Skizze erstellt, die den Durchmesser des Teilkreises besitzt, diese wird dann ebenfalls mit der Funktion „Trennen“ an einer Zahnflanke getrennt. Durch das Trennen entsteht eine Linie. Diese dient dann in weiterer Folge zum Anbringen der Zahnkraft. Nach diesem Schritt wird das Bauteil als ein CAD-Format exportiert.

Das sogenannte STEP-Format ist ein Format, das zu allen CAD-Systemen und auch

ANSYS eine Direktschnittstelle besitzt, sprich direkt erkannt werden kann. Beim Abspeichern ist jedoch auf ein paar wichtige Dinge zu achten. Am wichtigsten ist es, die Datei so zu benennen, dass weder Umlaute noch Sonderzeichen im Namen enthalten sind.

2.6.7.1.2 Balkenmodell der Ritzel- und Abtriebswelle

Die Aufbereitung des Balkenmodells besteht hauptsächlich darin eine txt-Datei zu erstellen. Der Ablauf ist für beide Wellen gleich. Der grundlegende Unterschied liegt darin, dass die Wellen ohne Zahnrad aufbereitet werden. Da das Zahnrad nicht „berücksichtigt“ wird, wird der Fußkreisdurchmesser für diesen Wellenabschnitt genommen. Zuerst werden im CAD-Modell alle Rundungen und Fasen mittels „Fläche löschen“ entfernt. Weiters werden, wie in der ANSYS Aufbereitung des

Ritzelwelle.txt			
Datei	Bearbeiten	Ansicht	
1	80	38	0
2	25	40	0
3	19	45	0
4	25	45	0
5	10	50	0
6	90	59,049	0
7	10	50	0
8	25	45	0
9	5,650	45	0

Abbildung 77: txt-Datei
Balkenmodell
(eigene Darstellung)

Bauteils, die Lagerabsätze durch die jeweiligen Ebenen getrennt. Wenn dies alles erledigt ist, wird eine txt-Datei⁴³ erstellt. Jeder Wellenabsatz hat eine eigene Zeile, die durchnummeriert ist (beginnend mit 1...). Hinweis: Die getrennte Lagerfläche gilt als eigener Absatz. In Spalt 1 werden die Wellenabsätze nummeriert, in der Spalte 2 die Abschnittslänge, in der Spalte 3 die Wellenabschnittsaußendurchmesser und in der Spalte 4 die Wellenabschnittsinnendurchmesser eingetragen. Beim Abspeichern dieser Datei ist es wieder wichtig darauf zu achten, dass weder Umlaute noch Sonderzeichen verwendet werden.

2.6.7.2 NASTRAN und Inventor-Bauteilanalyse

2.6.7.2.1 Ritzel- und Abtriebswelle (Volumenmodell)

Das zu analysierende Bauteil wird im ersten Schritt vereinfacht, das heißt, dass sämtliche nicht relevanten Rundungen und Fasen entfernt werden. Dazu kommt noch das Entfernen von Passfedernuten, Gewinde etc.. Danach wird eine Skizze auf

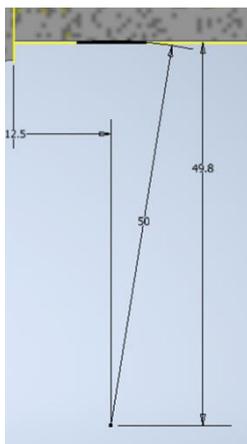


Abbildung 78: Kreisbogen-Skizze (eigene Darstellung)

die Mittelebene (der Rotationsachse) erstellt. In dieser Skizze wird ein Kreisbogen erstellt, dieser besitzt einen möglichst großen Radius und einen Mittenpunktversatz zur Geometrie, der um 0,2mm kleiner ist als der Radius. Der Abstand beträgt die halbe Breite des Lagers. Der Mittelpunkt des Kreisbogens soll immer in der Mitte des Lagers sein. Danach wird die Fläche des Kreisbogens von der Wellengeometrie mit der Funktion „Extrusion“ entfernt. Dies ist bei allen Lagerstellen gleich durchzuführen. Diese entstehende Fläche wird dann infolge für die PIN-Abhängigkeit⁴⁴ benötigt. Im dritten Schritt wird dann eine Skizze erstellt, die den Durchmesser des Teilkreises besitzt. Diese wird dann ebenfalls mit der Funktion „Trennen“ an einer Zahnflanke getrennt. Durch das Trennen entsteht eine Linie, diese dient dann in weiterer Folge zum Anbringen der

Zahnkraft.

⁴³ Textdateien Format

⁴⁴ Abhängigkeit für die Lagerstelle

Das Exportieren in ein STEP-Dateien Format ist in diesem Fall nicht unbedingt nötig. Es ist jedoch empfehlenswert, da es unter Umständen zu Problemen in der FE-Analyse kommen kann. NASTRAN und die Inventor-Bauteilanalyse haben mit Umlauten in der Datei normalerweise keine Probleme. Um kein Risiko einzugehen, ist es auch hier empfehlenswert Umlaute und Sonderzeichen zu vermeiden.

2.6.8 Randbedingungen der Analyse

Die Randbedingungen sind die Grundlage der Berechnung. Umso detaillierter die Randbedingungen festgelegt werden, umso genauer ist das zu erwartende Ergebnis.

2.6.8.1 Mesh (Size)

2.6.8.1.1 ANSYS Volumenmodell (inklusive Stirradstufe)

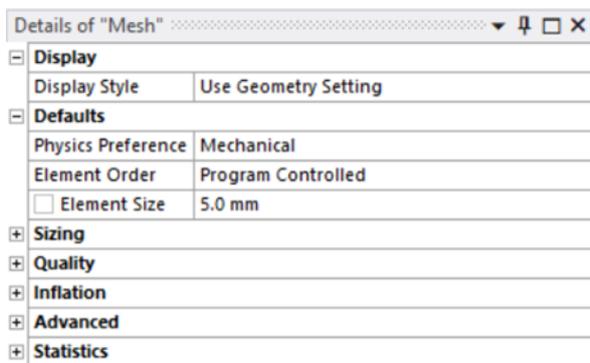


Abbildung 79: Element-Size der Stirradstufe ANSYS (eigene Darstellung)

In ANSYS wird die Feinheit des Netzes in der Element-Size eingestellt. Dies sollte möglichst fein gewählt werden. Im Falle des Volumenmodells der Ritzelwelle wurde die Element-Size von 3mm gewählt. Beim Volumenmodell der Abtriebswelle wurde die Element-Size von 5mm gewählt (Size-Limit Licence). Im Falle des Zusammenbaues der Stirradstufe wurde die Element-Size von 5mm gewählt.

2.6.8.1.2 ANSYS Balkenmodell

Das Generieren des Meshs funktioniert ident wie beim Volumenmodell (siehe 2.6.8.1.1). Im Falle des Balkenmodells der Ritzelwelle wurde eine Element-Size von 3 mm gewählt. Beim Balkenmodell der Abtriebswelle wurde eine Element-Size von 3mm gewählt.

2.6.8.1.3 NASTRAN

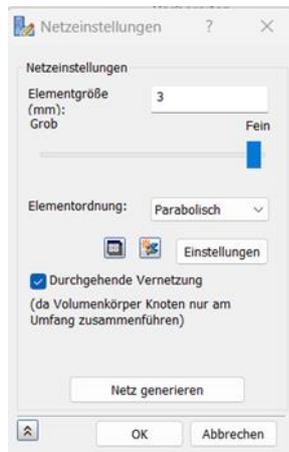


Abbildung 80: Elementgröße NASTRAN (eigene Darstellung)

In NASTRAN wird ebenfalls wie in der ANSYS-Analyse die Feinheit/Größe des Meshs mit einer Elementgröße bestimmt. Weiters ist eine Skala angeführt, in der ersichtlich ist, wie fein bzw. wie grob das Netz im Falle des eingefügten Bauteils ist. Die Element-Size wurde, um einen besseren Vergleich der Ergebnisse zu gewährleisten, bei den gleichen Werten gelassen. Das heißt, beim Volumenmodell der Ritzelwelle wird, wie bei der Antriebswelle, eine Element-Size von 3mm angenommen.

2.6.8.1.4 Inventor-Bauteilanalyse

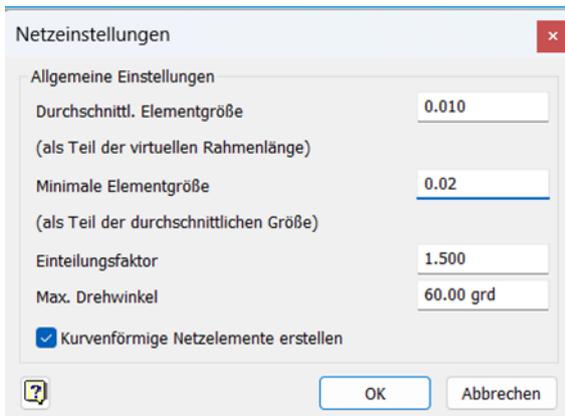


Abbildung 81: Elementgröße Inventor-Bauteilanalyse (eigene Darstellung)

Die Netzeinstellung in der Inventor-Bauteilanalyse unterscheidet sich im Grundprinzip von den andern zwei Programmen. Die Netzfeinheit wird direkt beim Erstellen der Analyse eingestellt. Dafür müssen zwei Parameter eingegeben werden. Der erste Parameter ist die durchschnittliche Elementgröße und der zweite Parameter die maximale Elementgröße. Dies hat den Nachteil, dass kein direkter Vergleich zwischen den Programmen, hinsichtlich der

Elementgröße gemacht werden kann. Bei der Ritzel- und Abtriebswelle wurde eine durchschnittliche Elementgröße von 0,02mm und eine maximale Elementgröße von 0,01mm angenommen.

2.6.8.2 Festlager

Im Allgemeinen dient diese Randbedingung für eine „Einspannung“ der Welle und stellt das Festlager der Welle dar. Dies kann Kräfte in x-, y- und z-Komponente aufnehmen.

2.6.8.2.1 ANSYS Volumenmodell inklusive Stirnradstufe

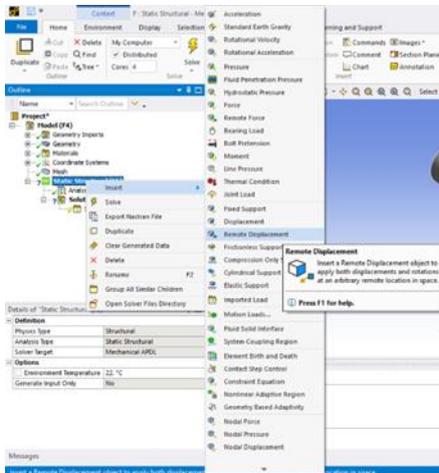


Abbildung 82: Remote Displacement (eigene Darstellung)

In ANSYS wird als Lagerabhängigkeit ein „Remote-Displacement“⁴⁵ eingefügt. Durch diese Funktion werden die Elemente und Punkte in einem Punkt gebündelt, dem sogenannten Remote Point. Dieser liegt in der Mitte dieses

Details of "Remote Displacement"	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	Apply Cancel
Coordinate System	Global Coordinate System
X Coordinate	0. mm
Y Coordinate	0. mm
Z Coordinate	0. mm
Location	Click to Change
Definition	
Type	Remote Displacement
X Component	0. mm (ramped)
Y Component	0. mm (ramped)
Z Component	0. mm (ramped)
Rotation X	Free
Rotation Y	Free
Rotation Z	Free
Suppressed	No
Behavior	Deformable
Advanced	

Abbildung 83: Bedingungen des Festlagers (eigene Darstellung)

Wellenabschnittes. Damit die Festlagerbedingung erfüllt werden kann, müssen in der „Remote-

Displacement“ Bedingung, ein paar Parameter geändert werden. Die x-, y- und z-Komponente muss gesperrt werden, in ANSYS wird dies mit „ramped“ bezeichnet. Damit die Rotation jedoch möglich bleibt, werden die x-, y- und z-Achse auf „free“ gelassen.

⁴⁵ Abhängigkeit die alle Elemente des Abschnitts in einen Punkt bündelt

2.6.8.2.2 ANSYS Balkenmodell

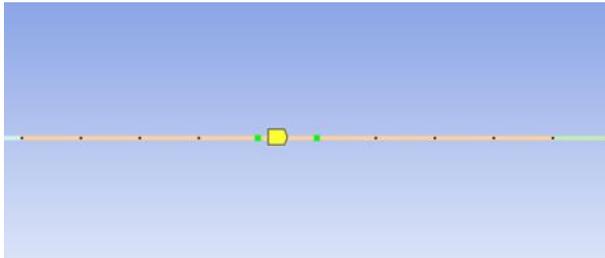


Abbildung 84: Festlager Balkenmodell (eigene Darstellung)

In der ANSYS Analyse des Balkenmodells, wird ebenfalls ein „Remote-Displacement“ eingefügt. In diesem Fall wird das „Remote-Displacement“ auf die Achse gesetzt. Hierbei ist darauf zu achten, dass der mittelste Punkt dieses Wellenabsatzes ausgewählt wird. Sollte es der Fall sein, dass es nicht genau einen Punkt gibt,

werden mit Hilfe der gedrückten strg-Taste die zwei mittelsten Punkte ausgewählt. Das Programm nimmt automatisch die Mitte der zwei Punkte an. Das eingefügte „Remote-Displacement“ hat die gleichen Parameter, wie bei einer Festlagerbedingung (siehe 2.6.8.2.1). Sprich: x-, y- und z-Komponente „ramped“ gestellt und die Rotation der x-, y-, und z-Achse auf „free“ gelassen.

2.6.8.2.3 NASTRAN und Inventor-Bauteilanalyse



Abbildung 85: PIN-Abhängigkeit NASTRAN (eigene Darstellung)

Da beide Programme von der Firma Autodesk entwickelt wurden, sind diese sehr ähnlich bis gleich aufgebaut. Die Lagerstelle wird mittels PIN-Abhängigkeit eingefügt. Hierbei ist es wichtig, die axiale und radiale Komponente zu fixieren.

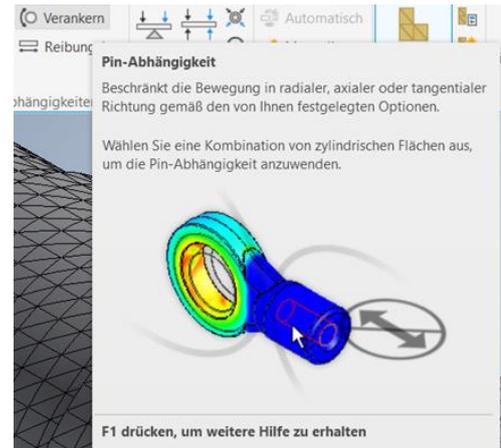


Abbildung 86: PIN-Abhängigkeit Inventor-Bauteilanalyse (eigene Darstellung)

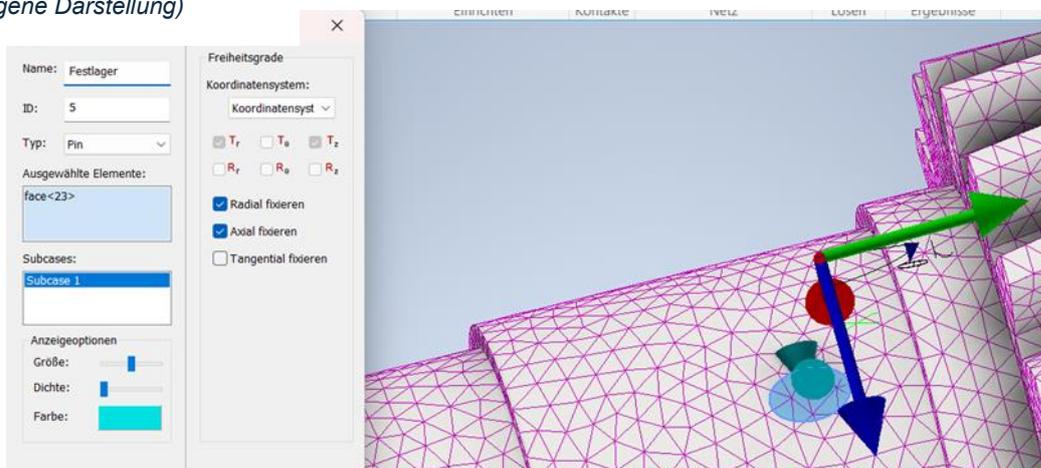


Abbildung 87: PIN-Abhängigkeit Festlager NASTRAN/ähnlich und simpler in Inventor-Bauteilanalyse (eigene Darstellung)

2.6.8.3 Loslager

Im Allgemeinen dient diese Randbedingung für eine „Einspannung“ der Welle und stellt das Loslager der Welle dar. Dies kann Kräfte in der y- und z-Komponente aufnehmen. In der Annahme, dass die x-Achse die Wellenachsenrichtung ist. Ein Loslager kann diese Komponente nicht aufnehmen.

2.6.8.3.1 ANSYS Volumenmodell inklusive Stirnradstufe

In ANSYS, wird als Lagerabhängigkeit ein „Remote-Displacement“ eingefügt. Durch diese Funktion werden die Elemente und Punkte in einem Punkt gebündelt, dem sogenannten Remote Point. Dieser liegt in der Mitte dieses Wellenabschnittes. Damit die Loslagerbedingung erfüllt werden kann, müssen in der „Remote-Displacement“ Bedingung ein paar Parameter geändert werden. Die y- und z-Komponente muss gesperrt werden, in ANSYS wird dies mit „ramped“ bezeichnet. In diesem Fall bleibt die x-Komponente auf „free“, da dies die Komponente in Wellenachsenrichtung ist. Damit die Rotation jedoch möglich ist, werden gleich wie beim Festlager, die x-, y- und z-Achse auf „free“ gelassen (nur bei der Stirnradstufe). Sowohl bei der Ritzelwelle, als auch bei der Abtriebswelle wird die Drehachse auf „ramped“ gestellt (nur bei Auflagerkraftberechnung). (Wenn man Spannungen errechnen will, wird die Drehachse auf „free“ gelassen und ein „Remote-Displacement“ auf das Wellenende gesetzt, in dem nur die Drehachse auf „ramped“ gestellt wird.)

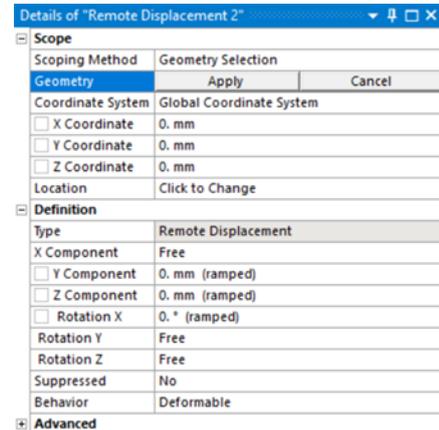


Abbildung 88: Bedingungen des Loslagers (eigene Darstellung)

2.6.8.3.2 ANSYS Balkenmodell

In der ANSYS Analyse des Balkenmodells, wird ebenfalls ein „Remote-Displacement“ eingefügt. In diesem Fall wird das „Remote-Displacement“ auf die Achse gesetzt. Hierbei ist, wie auch schon beim Festlager, darauf zu achten, dass der mittelste

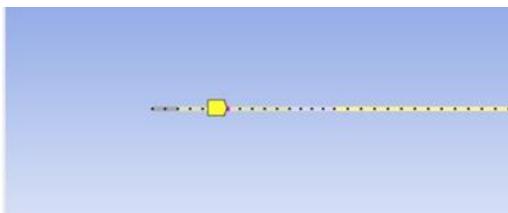


Abbildung 89: Loslager Balkenmodell (eigene Darstellung)

Punkt dieses Wellenabsatzes ausgewählt wird. Sollte es der Fall sein, dass es nicht genau einen Punkt gibt, werden mit Hilfe der gedrückten strg-Taste die zwei mittelsten Punkte ausgewählt. Das Programm nimmt automatisch die Mitte der zwei Punkte an. Das eingefügte „Remote-Displacement“ hat die gleichen Parameter wie

bei einer Loslagerbedingung (siehe 2.6.8.3.1). Sprich, y- und z-Komponente „ramped“, die x-Komponente in Wellenachsrichtung auf „free“. Die Rotation der x-, y-, und z-Achse werden ebenfalls auf „free“ gelassen. Um die Drehachse zu sperren, wird ein „Remote-Displacement“ auf die Wellenendachse (hier auch die Punkte auswählen) gesetzt, in dem nur die Drehachse auf „ramped“ gestellt wird.

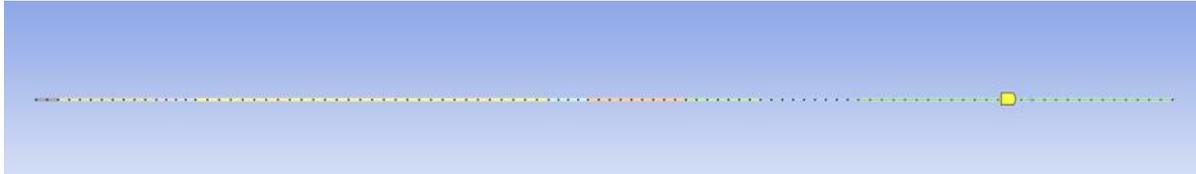


Abbildung 90: Remote-Displacement zum Sperren der Achse (eigene Darstellung)

2.6.8.3.3 NASTRAN und Inventor-Bauteilanalyse

Diese Bedingung funktioniert gleich wie beim Festlager (siehe 2.6.8.2.3).

2.6.8.4 Zahnkräfte

Die Zahnkräfte werden in axial-, radial- und tangentialer Komponente aufgeteilt. Dies entsteht durch die Schrägverzahnung.

2.6.8.4.1 ANSYS Volumenmodell

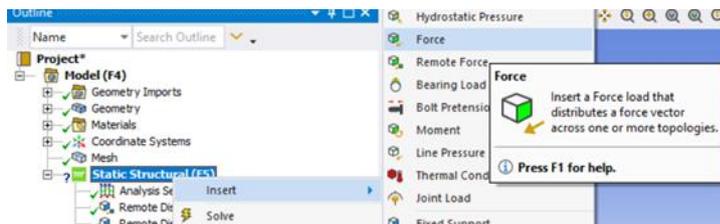


Abbildung 91: Force einfügen ANSYS (eigene Darstellung)

Details of "Force"	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Edge
Definition	
Type	Force
Define By	Components
Applied By	Surface Effect
Coordinate System	Global Coordinate System
<input type="checkbox"/> X Component	1767.8 N (ramped)
<input type="checkbox"/> Y Component	-10026 N (ramped)
<input type="checkbox"/> Z Component	3705.3 N (ramped)
Suppressed	No

Abbildung 92: Zahnkraftkomponenten ANSYS (eigene Darstellung)

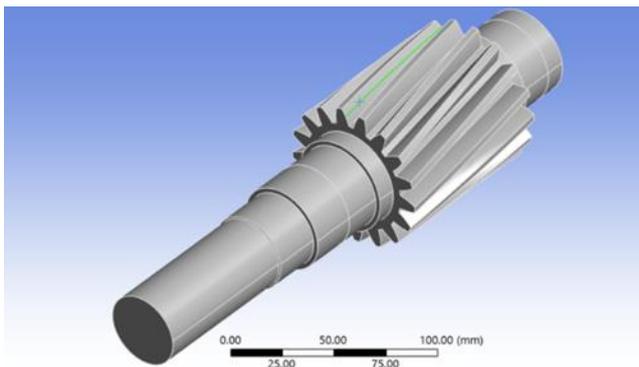


Abbildung 93: Kraft auf Teilkreis (eigene Darstellung)

eingeegebenen Komponenten.

Die Zahnkraft wird mit Hilfe der Funktion „Force⁴⁶“, auf die bei der Aufbereitung eingefügte Linie, in der Zahnflanke aufgebracht. Das Programm berechnet eine resultierende Kraft aus den

⁴⁶ Englisch für Kraft

2.6.8.4.2 ANSYS Balkenmodell

Das Einfügen der Kraft erfolgt auch hier mit der Funktion „Force“. Der Unterschied zum Volumenmodell besteht darin, dass die Kraft auf die Achse mit dem gleichen Prinzip, wie bei den Lagerstellen eingefügt wird. Das heißt, dass die Kraft auf den mittelsten Punkt aufgebracht wird. Sollte es der Fall sein, dass es nicht genau einen Punkt gibt, werden mit Hilfe der gedrückten strg-Taste, die zwei mittelsten Punkte ausgewählt. Das Programm nimmt automatisch die Mitte der zwei Punkte an.

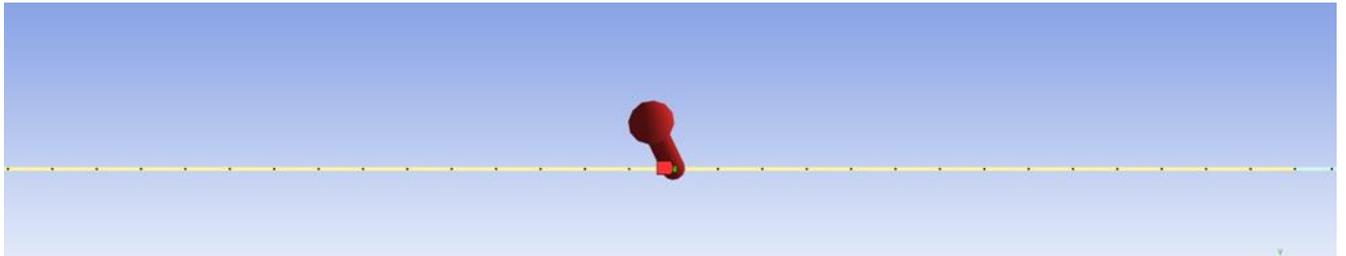


Abbildung 94: Kraft auf Wellenachse (eigene Darstellung)

2.6.8.4.3 NASTRAN und Inventor-Bauteilanalyse Volumenmodell

Auch bei dieser Funktion „Lasten“ sind die beiden Programme gleich zu bedienen. Die Kraft wird in den einzelnen Komponenten eingeben und das Programm erstellt eine resultierende Zahnkraft. Die Last wird ebenfalls auf die, zuvor in der Aufbereitung erstellte Linie, in der Zahnflanke aufgebracht.

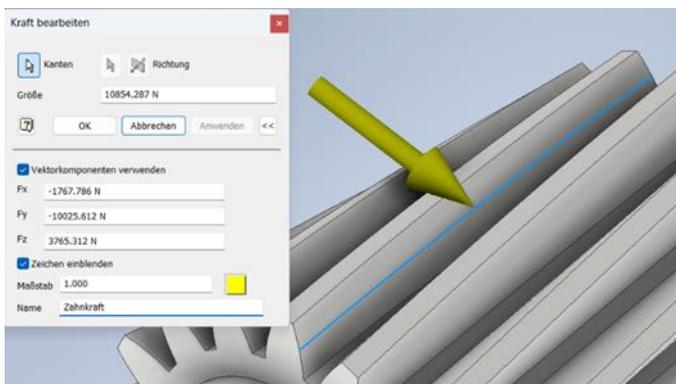


Abbildung 95: Zahnkraft Inventor-Bauteilanalyse (eigene Darstellung)

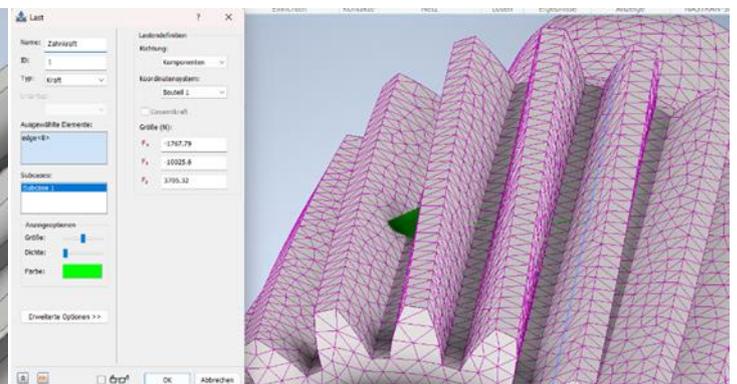


Abbildung 96: Zahnkraft NASTRAN (eigene Darstellung)

2.6.8.5 Momente

Die Momente werden auf den angetriebenen Wellenabsatz eingefügt, können aber auch am Eingriff der Zähne aufgebracht werden. Diese sind notwendig, um einen Momentenverlauf zu simulieren und auch die Torsionsspannung auszuwerten. Damit aber eine Torsionsspannung auftreten, kann muss ein Gegenmoment oder eine Achsensperre eingefügt werden.

2.6.8.5.1 ANSYS, NASTRAN und Inventor-Bauteilanalyse Volumenmodell

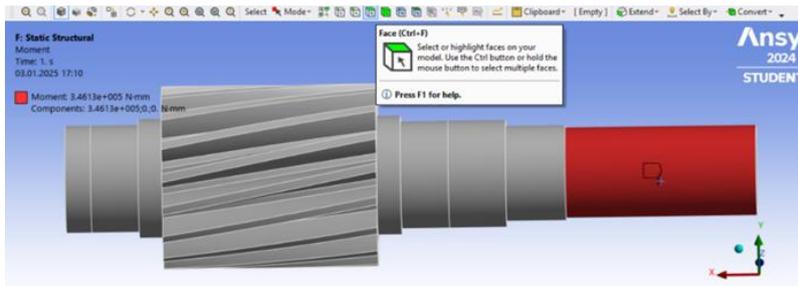


Abbildung 97: Moment am Wellenabsatz ANSYS (eigene Darstellung)

Details of "Moment"	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	Apply Cancel
Definition	
Type	Moment
Define By	Components
Coordinate System	Global Coordinate System
<input type="checkbox"/> X Component	3.4613e+005 N-mm (ramped)
<input type="checkbox"/> Y Component	0. N-mm (ramped)
<input type="checkbox"/> Z Component	0. N-mm (ramped)
Suppressed	No
Behavior	Deformable
Advanced	

Abbildung 98: Moment an der Ritzelwelle ANSYS (eigene Darstellung)

Bei den drei Programmen funktioniert das Einfügen der Momente ident. Das Moment wird auf den Wellenabsatz eingefügt. Um eine Torsion zu erzeugen, wird entweder die Wellenachse mit Hilfe

eines „Remote-Displacement“ (ANSYS) oder der Funktion „Fest oder Fix“ (NASTRAN und Inventor) gesperrt. Es kann auch ein Gegenmoment aufgebracht werden.

2.6.8.5.2 ANSYS Balkenmodell

Beim Balkenmodell wird das Moment auf die gesamte Länge des Wellenabschnittes eingefügt. Um hier eine Torsion zu erzeugen, wird ein Gegenmoment oder ein „Remote-Displacement“ (sperren der Drehachse) eingefügt. Das Moment muss auf dem gesamten Wellenabschnitt aufgebracht werden. Weiters muss ein Moment in Richtung der Welle angesetzt werden, da die axiale Komponente auf den Teilkreis

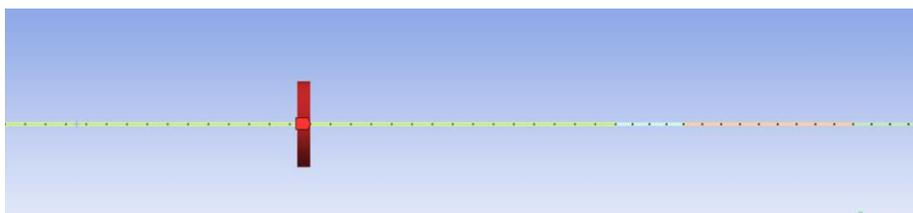


Abbildung 99: Moment am Balkenmodell (eigene Darstellung)

ein Moment ausübt. Das Prinzip funktioniert am selben Abschnitt genau

gleich.

2.6.8.6 Stirnradstufe in ANSYS

Details of "Bonded - No Selection To No Selection"	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Contact	1 Face
Target	1 Face
Contact Bodies	Zusammenbau_aufbereitet
Target Bodies	Zusammenbau_aufbereitet
Protected	No
Definition	
Type	Frictional
<input type="checkbox"/> Friction Coefficient	0.1
Scope Mode	Manual
Behavior	Program Controlled
Trim Contact	Program Controlled
Contact APDL Name	

Abbildung 100: Connection Bedingung ANSYS (eigene Darstellung)

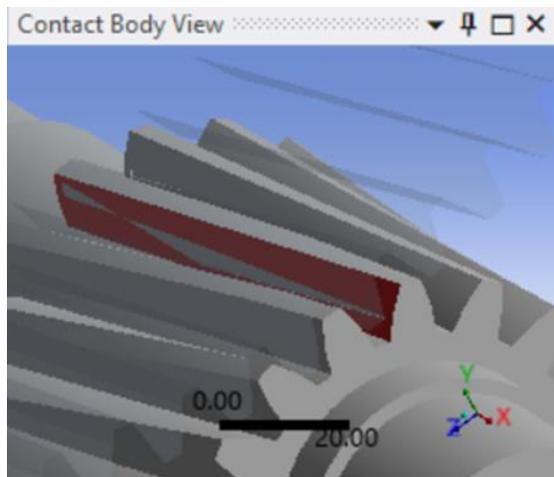


Abbildung 101: Contact Ritzelwelle ANSYS (eigene Darstellung)

Rotation der Wellenachse auf „ramped“ gestellt wird, bestimmt.

Die aufbereitete Stirnradstufe wird in ANSYS eingefügt. Um eine Verbindung der Zahnflanken im Eingriff herzustellen, wird mittels der Funktion „Connection⁴⁷“ eine Verbindung generiert. Die Lagerbedingungen werden gleich eingefügt, wie beim Festlager des ANSYS Volumenmodells (siehe 2.6.8.2.1) und beim Loslager des ANSYS Volumenmodells (siehe 2.6.8.3.1). Die Kräfte werden in diesem Fall vernachlässigt und nur ein Moment eingefügt. Das eingefügte Moment wird auf die Stirnfläche des Wellenabsatzes der Abtriebswelle eingefügt. In diesem Fall wird kein Gegenmoment aufgetragen, sondern die Rotation um die Wellenachse der Ritzelwelle gesperrt. Dies wird durch die Funktion „Remote-Displacement“ auf die Stirnfläche der Ritzelwelle, in der die

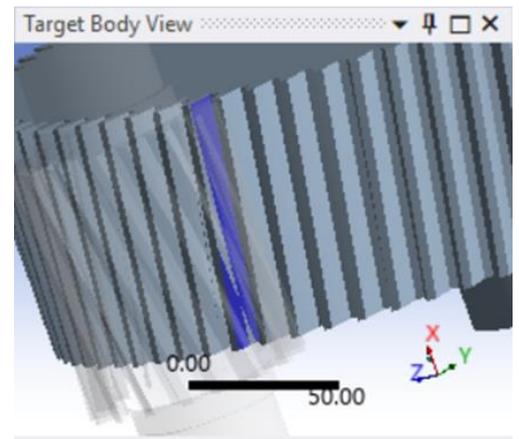


Abbildung 102: Contact Abtriebswelle ANSYS (eigene Darstellung)

⁴⁷ Englisch für Verbindung

2.6.9 Ergebnisauswertung

2.6.9.1 Auflagerkräfte [N]

Ritzelwelle	ANSYS Balkenmodell	ANSYS Volumenmodell	NASTRAN Volumenmodell	Inventor-Bauteilanalyse Volumenmodell
Festlager	5793,5	5885,8	6146,31	5979
Loslager	5204,8	5102,5	5013,98	5183

Tabelle 6: Auflagerkräfte der Ritzelwelle (eigene Darstellung)

Abtriebswelle	ANSYS Balkenmodell	ANSYS Volumenmodell	NASTRAN Volumenmodell	Inventor-Bauteilanalyse Volumenmodell
Festlager	5049,7	5030,1	5247,41	5179
Loslager	6158,3	6173,8	6820,27	6888

Tabelle 7: Auflagerkräfte der Abtriebswelle (eigene Darstellung)

2.6.9.2 Spannungen [N/mm²]

Ritzelwelle	ANSYS Balkenmodell	ANSYS Volumenmodell
Biegespannung	9,2098	23,497
Torsionsspannung	-	30,368
Vergleichsspannung	9,2098	110,14

Tabelle 8: Spannungen der Ritzelwelle (eigene Darstellung)

Abtriebswelle	ANSYS Balkenmodell	ANSYS Volumenmodell
Biegespannung	1,7354	18,137
Torsionsspannung	-	40,429
Vergleichsspannung	2,0306	-85,306

Tabelle 9: Spannungen der Abtriebswelle (eigene Darstellung)

2.6.9.3 Verformungen [mm]

Ritzelwelle	ANSYS Balkenmodell	ANSYS Volumenmodell
Total Deformation	0,0035794	0,068397

Tabelle 10: Verformungen der Ritzelwelle (eigene Darstellung)

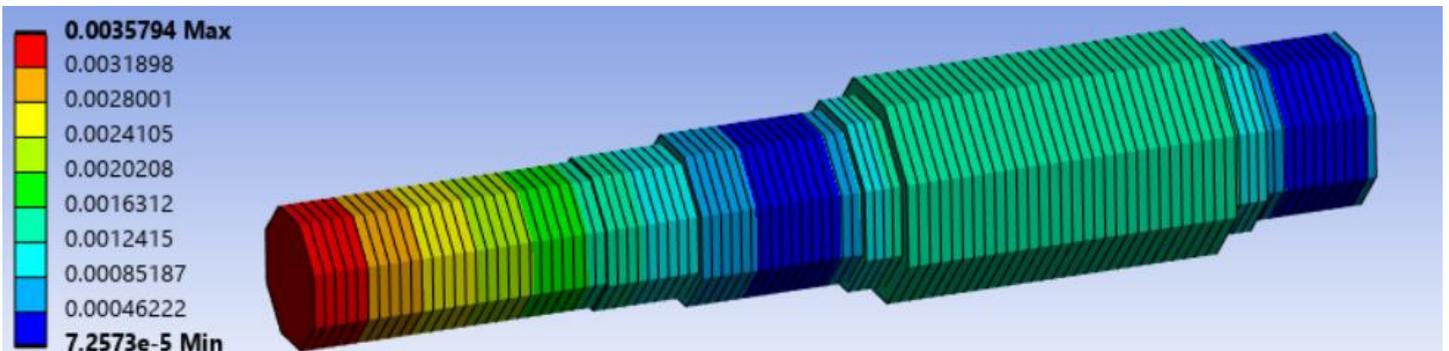


Abbildung 103: Total-Deformation Ritzelwelle (eigene Darstellung)

Abtriebswelle	ANSYS Balkenmodell	ANSYS Volumenmodell
Total Deformation	0,00058465	0,2502

Tabelle 11: Verformungen der Abtriebswelle (eigene Darstellung)

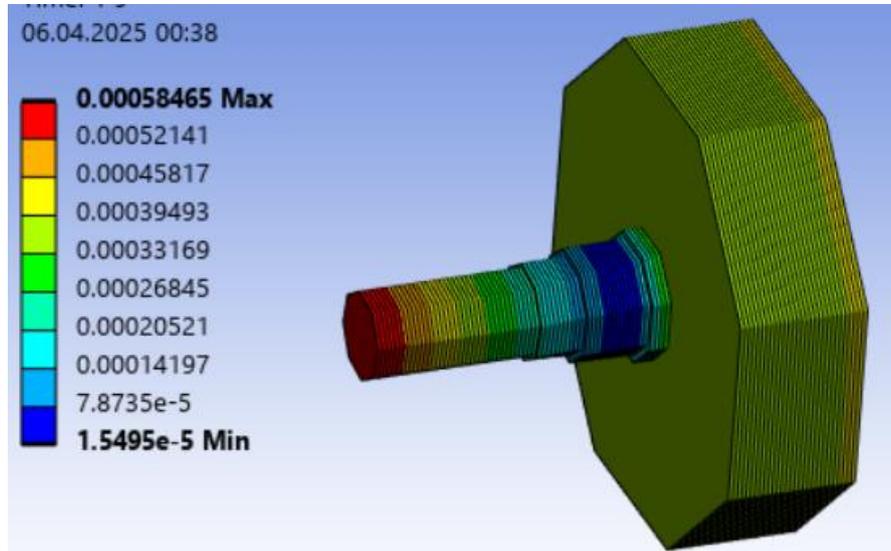


Abbildung 104: Total-Deformation Abtriebswelle (eigene Darstellung)

2.6.9.4 Händische Nachrechnung

Die händische Nachrechnung wurde im Zuge des Diplomarbeitsteils von Herrn Jonas Huber durchgeführt. Die Auflagerkräfte der beiden Balkenmodelle stimmen mit denen aus dem Mathcad-Rechner berechneten Auflagerkräften überein.

2.6.10 Vor- und Nachteile der einzelnen Programme

In Bezug auf den schulischen Gebrauch, sind folgende Vor- und Nachteile der einzelnen Programme ersichtlich geworden. Jedes dieser Programme hat seine eigenen Anwendungsbereiche, in denen es seine Fähigkeiten optimal umsetzt.

2.6.10.1 ANSYS

2.6.10.1.1 Vorteile

Einer der größten Vorteile ist, dass ANSYS eine hochpräzise Analyse bietet. Dies ist mit den zwei anderen Programmen nicht zu vergleichen (siehe 2.6.10.2.2 Nachteile NASTRAN) und (siehe 2.6.10.3.2 Inventor-Bauteilanalyse). Weiters bietet es ein großes Spektrum an Analyse-Methoden. Ob statische Bauteilanalyse oder eine Festigkeitsrechnung bzw. Modalanalyse oder eine Simulation von Strömungen und Flüssigkeiten. Die Randbedingungen können je nach Bedarf abgeändert und auch feinjustiert werden. Weiters ist das Programm, wenn es einmal verstanden worden ist, leicht und sehr effizient in der Handhabung. Es wird nur eine geringe Aufbereitung benötigt.

2.6.10.1.2 Nachteile

Einer der größten Nachteile ist, dass externe Dateien eingefügt werden. Dies bedeutet im Umkehrschluss, wenn eine Änderung in der Grunddatei gemacht wird, muss man eine komplett neue Analyse aufsetzen. Ein weiterer großer Nachteil ist, dass ANSYS ein sehr rechenintensives Programm ist und eine Rechenleistungsstarke Hardware benötigt. Dies kann für manche Schulen ein Problem darstellen, da veraltete Geräte oftmals ein rechentechnisches Problem haben. Weiters ist bei der Installation am eigenen Computer zu achten, dass kein Virenschutz aktiv ist. Falls ein Virenschutz (wie z.B. Norton, ...) bei der Installation aktiv ist, kann es der Fall sein, dass ein Teil der Programme nicht korrekt installiert wird und somit das Programm nicht einsetzbar ist. Weiters kommt noch dazu, dass die Software extra installiert werden muss.

2.6.10.1.3 Herausforderungen

Um ein Grundverständnis zu erlangen ist eine 15-20 stündige Einführung von geschultem Lehrpersonal notwendig. Der hohe Zeitaufwand der Einschulung, findet durch die vielen Vorteile des Programms, seine Berechtigung (siehe [2.6.10.1.1](#)).

2.6.10.2 NASTRAN

2.6.10.2.1 Vorteile

Der größte Vorteil ist, dass durch die direkte Verbindung der CAD-Datei, jede Änderung am Bauteil sofort in die Analyse miteinfließt und nicht eine neue Analyse aufgesetzt werden muss. Die Installation der zusätzlichen Software gestaltet sich einfach, da, mit dem Autodesk-Inventor, die Grundlage schon installiert wurde. Dies ist mehr oder weniger nur ein Add-on. Ein großer Vorteil zu ANSYS ist, dass NASTRAN nicht so rechenintensiv ist, bzw. auch auf älteren Geräten ohne separate Grafikkarte sehr gut funktioniert.

2.6.10.2.2 Nachteile

Da Randbedingungen nicht so genau definiert werden können, ist die Genauigkeit und Präzision nicht annähernd so gegeben, wie bei ANSYS. Die Ungenauigkeit beginnt bei der Lagerstelle durch die PIN-Abhängigkeit. Weiters ist das Spektrum der Analysemöglichkeiten deutlich eingeschränkter als bei ANSYS. Ein weiterer Punkt ist, dass die Aufbereitung um einiges länger dauert und aufwändiger ist. Weiters kommt noch dazu, dass die Software extra installiert werden muss.

2.6.10.2.3 Herausforderungen

Eine indirekte Herausforderung kann es in der Aufbereitung der Wellen geben. Dies benötigt ein gewisses Grundverständnis, wie die Abhängigkeiten funktionieren. Auch das Erlangen bzw. Erarbeiten des Grundverständnisses, kann für manche Schülerinnen und Schüler, eine Herausforderung darstellen.

2.6.10.3 Inventor-Bauteilanalyse

2.6.10.3.1 Vorteile

Der größte Vorteil ist, dass ebenfalls, wie in NASTRAN eine direkte Schnittstelle zur CAD-Datei besteht und jede Änderung im Bauteil sofort in die Analyse miteinfließt. Ein weiterer großer Vorteil ist, dass dieses Programm automatisch mit dem Autodesk Inventor Professional installiert wird. Dies bedeutet, dass Schülerinnen und Schüler keinen Mehraufwand haben. Weiters ist es eine gute Möglichkeit in die FE-Analyse hineinzuschnuppern. Die Grundfunktionen sind leichter verständlich.

2.6.10.3.2 Nachteile

Die Nachteile sind bis auf die separate Installation und das nicht diskret einzustellende und etwas schwieriger verständliche Netz, siehe NASTRAN Nachteile (siehe [2.6.10.2.2](#)).

2.6.10.3.3 Herausforderungen

Die Herausforderungen sind ident mit denen der NASTRAN Analyse (siehe [2.6.10.2.3](#)).

3 Besprechungsprotokoll als Beispiel

Betreff	Fragen Berechnungsheets
Termin, Ort	07.05.2024, 4BHMBT
Teilnehmer	Begleiter: Lang Hermann Diplomanden: Huber Jonas

Themen:

Ermüdungsfestigkeit:

Niemann: Problem: Die Biegemittelspannung wird anstatt der Vergleichsmittelspannung (Roloff/Matek) in die Formel für die Ausschlagfestigkeit eingesetzt, S. 140

A: Niemann geht davon aus, dass die Vergleichsspannung eine Zug-/Druckspannung ist, da es für die Vergleichsspannung kein Smith-Diagramm gibt. (Für die Formel für GEH ist die Gleichungsnummer/Quelle noch unbekannt.)

Köhler Rognitz: Nennspannungskonzept: Ist die Formel für die Sicherheit korrekt? Habe ich hergeleitet. Kerbspannungskonzept: Die Vergleichsspannung ist sehr viel kleiner, weil die Ausschlagtorsionsspannung 0 gesetzt wird, gehört das hier auch so?

A: Köhler/Rognitz vernachlässigt die Mittelspannungen komplett, Formel kann genommen werden.

Decker: Über die Mittelspannungsempfindlichkeit und die ertragbaren Ausschläge steht im Buch, S. 380 oben, dass nur der erste Fall der Norm behandelt wird, das heißt der Berechnungsablauf ist nicht wirklich vergleichbar mit den anderen. Daher ist auch die Gestaltausschlagfestigkeit sehr hoch.

A: Nicht vergleichbar, weil nur Überlastfall 1 betrachtet wird. Ist auch bei Überlastfall 2 die Biegemittelspannung 0? A: Ja

Ist die Differenz zwischen Wert mit KA-Faktor und Wert ohne KA-Faktor nicht Ausschlag?

A: Nein! Gilt nicht als Ausschlag.

Eventuell KA-Faktor sogar weglassen bei Ermüdungsfestigkeit? Siehe Sheet Ermüdungsfestigkeit.

A: Entweder beide ohne oder beide mit. Interessant, dass es die Einen so machen und die Anderen so. (Beide Berechnungsabläufe werden mit KA-Faktor gerechnet)

Passfederberechnung:

Niemann: Die Festigkeitswerte wie im Buch Beispiel 4 werden nicht umgerechnet, muss man diese nicht umrechnen?

A: Doch, diese müssen, auch wenn im Beispiel nicht getan, umgerechnet werden. (Wurde im Rechner vermerkt, aber nicht durchgeführt, Lehrbücher wurden schon zurückgegeben.)

Niemann/MDESIGN: Berechnung vom Ersatzdurchmesser D bei abgesetzten Naben, wie nehmen wir c und D2 an?

A: Zur Vereinfachung wird angenommen, dass der Ersatzdurchmesser gleich dem des nächstgrößeren Durchmessers zum Innendurchmesser ist.

Teilweise gibt es sehr unterschiedliche Ergebnisse.

A: Ist okay, muss so hingenommen werden.

Statische Festigkeit:

Niemann: S. 750, Sigmabmax wird mit Verhältnis Tmax/Tnenn berechnet, wir haben kein Tmax

A: Sigmabmax=Sigmabnenn

Köhler/Rögnitz: Kann die Sicherheit durch zul. Spannung / vorhandene Vergleichsspannung berechnet werden?

A: Nein, Biegung und Torsion müssen extra gerechnet werden. (Vermerkt, Buch nicht mehr zur Verfügung.)

Decker: Zur statischen Festigkeit wird leider wenig angegeben, vor allem nicht, wie man mit der Vergleichsspannung weiterrechnet. Es gibt keine Formel dafür, beziehungsweise wurde sie nicht gefunden.

A: Kann weggelassen werden.

Roloff/Matek erweitert: Es wird bei der plastischen Stützzahl keine Unterscheidung getroffen, ob der Wert größer oder kleiner 3 ist. (wie es beim Ablauf in Ihren Präsentationsfolien der Fall ist)

A: Keine Unterscheidung, $R_{pmax}=1050N/mm^2$.

Darf bei der Berechnung nach Roloff/Matek die Formel für die Sicherheit aus dem vereinfachten Nachweis entnommen werden, auch wenn mit den plastischen Stützzahlen gerechnet wird? Wie soll der Festigkeitsnachweis sonst erbracht werden? (S. 59)

A: Ja, die Formel kann verwendet werden. Zug/Druck wird hinzuaddiert.

Allgemein:

In der PDF-Datei, welche an der E-Mail des Herrn Direktor angehängt ist, steht, dass die Begriffe, Variablen oder Abkürzungen bei einer Diplomarbeit immer einheitlich zu benennen sind. Die Variablen und einige Begriffe werden jedoch in den unterschiedlichen Büchern teilweise unterschiedlich benannt. Müssen die Benennungen auch bei dieser Diplomarbeit alle einheitlich sein?

A: Nein, die Variablen sollen so benannt werden wie sie in den einzelnen Büchern angegeben werden.

Köhler/Rögnitz: Im Buch wird kein Anwendungsfaktor berücksichtigt. Soll dieser weggelassen werden?

A: Ja

Roloff/Matek: Welcher Durchmesser soll für KT bei der Nabe angenommen werden? Nabenaußendurchmesser oder Nabeninnendurchmesser? (Schule: Nabeninnendurchmesser)

A: Breite, siehe Besprechungsprotokoll vorheriges Mal (online Meeting)

Soll bei den Biegemomenten der KA-Faktor berücksichtigt werden?

A: Ja

Soll die ZUG/DRUCK Beanspruchung, sprich die Axialkraft (schrägverzahntes Getriebe) bei allen Berechnungsabläufen berücksichtigt werden?

A: Berechnungsabläufe dienen dem Vergleichszweck, die Axialkraft muss also nicht bei allen Berechnungsabläufen berücksichtigt werden.

To Do's

gezeichnet: Huber Jonas, 17.10.2024

-

4 Stundenprotokolle

4.1 Huber Jonas

Datum	von	bis	Dauer [h]	Teilnehmer	Inhalt
07.05.2024	13:30	14:30	01:00	Lang, Gruber, Hackl, Gutmann, Pabisch, Huber	Letto, Erklärung, Grundlegendes, erste Schritte, Login, Kennenlernen
23.06.2024	10:10	11:10	01:00	Huber	Erstes Ausfüllen des Projektvorschlages
26.06.2024	08:30	11:00	02:30	Huber	Erstellen der Vorlage inkl. Deckblatt, Verzeichnisse usw.
26.06.2024	11:40	13:20	01:40	Hackl, Gutmann, Pabisch, Huber	Besprechen der Aufgaben über die Ferien für die einzelnen Diplomanden
27.06.2024	09:50	10:50	01:00	Huber	Erstellen der Liste für Welle-Nabenverbindungen, Aufgabenbearbeitung
27.06.2024	16:25	18:30	02:05	Huber	Vergleich erstellen von Berechnungsvorgängen in Büchern
28.06.2024	11:10	12:20	01:10	Huber	Recherche Berechnungsprogramme
28.06.2024	10:00	12:30	02:30	Hackl, Gutmann, Pabisch, Lang, Huber	Exkursion Firma Salegger
29.06.2024	08:15	08:35	00:20	Huber	PTC Mathcad Recherche
29.06.2024	10:30	13:50	03:20	Huber	Passfederberechnung Vergleich der Lehrbücher
29.06.2024	14:15	16:45	02:30	Huber	Passfederberechnung Vergleich der Lehrbücher
29.06.2024	16:45	17:30	00:45	Huber	Lagerberechnung Vergleich der Lehrbücher
01.07.2024	18:15	20:15	02:00	Huber	Lagerberechnung Vergleich der Lehrbücher
04.07.2024	19:00	20:50	01:50	Huber	Lagerberechnung Vergleich der Lehrbücher
05.07.2024	14:15	14:25	00:10	Huber	Besprechung zu MDESIGN mit Herrn Hölischer
12.07.2024	14:10	15:50	01:40	Huber	Festigkeitsberechnung Theorie Vergleich Lehrbücher
12.07.2024	16:10	17:45	01:35	Huber	Statische Festigkeitsberechnung Vergleich Lehrbücher
14.07.2024	19:10	21:30	02:20	Huber	Statische Festigkeitsberechnung Vergleich Lehrbücher
19.07.2024	18:30	19:20	00:50	Huber	Statische Festigkeitsberechnung Vergleich Lehrbücher
19.07.2024	20:00	20:50	00:50	Huber	Statische Festigkeitsberechnung Vergleich Lehrbücher
20.07.2024	10:35	12:15	01:40	Huber	Statische Festigkeitsberechnung Vergleich Lehrbücher
21.07.2024	09:00	11:15	02:15	Huber	Statische Festigkeitsberechnung Vergleich Lehrbücher
21.07.2024	11:23	11:30	00:07	Huber	Statische Festigkeitsberechnung Vergleich Lehrbücher
21.07.2024	13:24	15:11	01:47	Huber	Statische Festigkeitsberechnung Vergleich Lehrbücher
23.04.2024	13:55	14:55	01:00	Huber	Statische Festigkeitsberechnung Vergleich Lehrbücher
23.07.2024	15:03	17:10	02:07	Huber	Statische Festigkeitsberechnung Vergleich Lehrbücher-Köhler/Rögnitz
24.07.2024	14:08	17:40	03:32	Huber	Text Nachbearbeitung, Excel Einbettung versucht (funktioniert nicht gut), Tabellenübersicht gestartet
25.07.2024	09:05	12:05	03:00	Huber	Vergleiche mit Excel fortgesetzt
25.07.2024	12:30	13:30	01:00	Huber	Vergleich Lagerebensdauer Excel Roloff/Matek-Decker
25.07.2024	15:10	16:47	01:37	Huber	Vergleich Lagerebensdauer Excel Roloff/Matek-Decker Tabellenbücher
25.07.2024	19:11	20:00	00:49	Huber	Vergleich Lagerebensdauer Excel Roloff/Matek-Decker Tabellenbücher
26.07.2024	09:25	12:30	03:05	Huber	Vergleich Lagerebensdauer Excel Köhler/Rögnitz und Niemann
26.07.2024	13:30	15:08	01:38	Huber	Vergleich statische Festigkeitsberechnung Excel Roloff/Matek
26.07.2024	15:25	18:05	02:40	Huber	Vergleich statische Festigkeitsberechnung Excel Niemann
27.07.2024	11:45	12:15	00:30	Huber	Handrechnungen statische Festigkeit Köhler/Rögnitz, Roloff/Matek und Decker
27.07.2024	12:47	14:52	02:05	Huber	Handrechnungen statische Festigkeit Köhler/Rögnitz, Roloff/Matek und Decker
28.07.2024	14:38	14:52	00:14	Huber	Handrechnungen statische Festigkeit Köhler/Rögnitz, Roloff/Matek und Decker
29.07.2024	11:08	11:45	00:37	Huber	Handrechnungen statische Festigkeit Köhler/Rögnitz, Roloff/Matek und Decker
29.07.2024	11:45	12:40	00:55	Hackl, Huber	Besprechung der momentanen Aufgaben
29.07.2024	12:47	13:37	00:50	Huber	statische Festigkeitsberechnung nach Niemann, Handrechnung
29.07.2024	14:08	15:05	00:57	Huber	statische Festigkeitsberechnung nach Roloff/Matek V01 in Mathcad
29.07.2024	15:05	15:18	00:13	Huber	statische Festigkeitsberechnung nach Köhler/Rögnitz in Mathcad
29.07.2024	15:25	17:00	01:35	Huber	statische Festigkeitsberechnung nach Köhler/Rögnitz in Mathcad
29.07.2024	17:00	18:00	01:00	Huber	statische Festigkeitsberechnung nach Decker in Mathcad
29.07.2024	18:10	18:43	00:33	Huber	statische Festigkeitsberechnung nach Decker in Mathcad
29.07.2024	18:43	19:28	00:45	Huber	statische Festigkeitsberechnung nach Roloff/Matek V02 in Mathcad
30.07.2024	06:30	07:35	01:05	Huber	statische Festigkeitsberechnung nach Roloff/Matek V02 in Mathcad
30.07.2024	08:38	09:45	01:07	Huber	Ermüdungsfestigkeitsnachweis nach Roloff/Matek in Mathcad
30.07.2024	10:23	11:30	01:07	Huber	Ermüdungsfestigkeitsnachweis nach Roloff/Matek in Mathcad
30.07.2024	11:50	13:30	01:40	Huber	Ermüdungsfestigkeitsnachweis nach Roloff/Matek in Mathcad
30.07.2024	13:30	17:20	03:50	Huber	Ermüdungsfestigkeitsnachweis nach Decker in Mathcad
30.07.2024	20:22	20:44	00:22	Huber	Ermüdungsfestigkeitsnachweis nach Decker in Mathcad
30.07.2024	21:10	21:31	00:21	Huber	Ermüdungsfestigkeitsnachweis nach Decker in Mathcad
31.07.2024	06:38	06:53	00:15	Huber	Ermüdungsfestigkeitsnachweis nach Decker in Mathcad
31.07.2024	06:53	07:15	00:22	Huber	Ermüdungsfestigkeitsnachweis nach Köhler/Rögnitz in Mathcad
31.07.2024	08:05	11:11	03:06	Huber	Ermüdungsfestigkeitsnachweis nach Köhler/Rögnitz in Mathcad
31.07.2024	11:25	14:40	03:15	Huber	Ermüdungsfestigkeitsnachweis nach Köhler/Rögnitz Kerbspannungskonzept in Mathcad
31.07.2024	11:40	12:05	00:25	Hackl, Huber	Gespräch mit Markus Hackl über LeTto
31.07.2024	12:05	13:10	01:05	Huber	Ermüdungsfestigkeitsnachweis nach Köhler/Rögnitz Kerbspannungskonzept in Mathcad
31.07.2024	13:50	14:28	00:38	Huber	Ermüdungsfestigkeitsnachweis nach Köhler/Rögnitz Kerbspannungskonzept in Mathcad
31.07.2024	14:28	14:56	00:28	Huber	Allgemeine Bearbeitung der Rechner
31.07.2024	15:07	15:40	00:33	Huber	Recherche Roloff/Matek Dauerfestigkeit
31.07.2024	15:40	16:06	00:26	Huber	Recherche Ermüdungsfestigkeit Niemann
31.07.2024	16:06	17:24	01:18	Huber	Ermüdungsfestigkeitsnachweis nach Niemann in Mathcad
31.07.2024	18:12	19:08	00:56	Huber	weiter: Kdm kdp berechnen
02.08.2024	16:00	17:05	01:05	Huber	Ermüdungsfestigkeitsnachweis nach Niemann in Mathcad
02.08.2024	18:15	18:23	00:08	Huber	Ermüdungsfestigkeitsnachweis nach Niemann in Mathcad
02.08.2024	20:00	21:05	01:05	Huber	Ermüdungsfestigkeitsnachweis nach Niemann in Mathcad
03.08.2024	09:12	09:48	00:36	Huber	Ermüdungsfestigkeitsnachweis nach Niemann in Mathcad, bis S.758, Bestätigung des Rechenvorganges des Bereiches 2
03.08.2024	10:08	10:19	00:11	Huber	Ermüdungsfestigkeitsnachweis nach Niemann in Mathcad, bis Nachweis der Bauteilsicherheit gekommen
03.08.2024	10:30	11:07	00:37	Huber	Rechner fertiggestellt, hohe Sicherheit, andere Werte eingesetzt, um die Berechnung zu überprüfen
03.08.2024	11:39	13:05	01:26	Huber	Fehlersuche, Berechnung mit Werten aus Buchbeispiel passt
03.08.2024	16:16	17:00	00:44	Huber	Fehlersuche
04.08.2024	09:40	10:05	00:25	Huber	statische Festigkeit nach Niemann
04.08.2024	10:09	11:10	01:01	Huber	Rechner statische Festigkeit
04.08.2024	11:10	11:20	00:10	Huber	Rechner statische Festigkeit Decker und Köhler/Rögnitz
04.08.2024	11:40	13:00	01:20	Huber	Lang schreiben, Fragen formulieren, Rechner durchschauen
13.08.2024	09:30	09:55	00:25	Hackl, Huber	durchschauen von Hackl's Vergleich, Planungstelefonat mit Hackl
13.08.2024	10:08	11:11	01:03	Huber	Ermüdungsfestigkeit Vergleich Excel
13.08.2024	11:20	12:45	01:25	Huber	Ermüdungsfestigkeit Vergleich Excel
13.08.2024	13:15	13:50	00:35	Huber	Ermüdungsfestigkeit Vergleich Excel
13.08.2024	14:05	14:50	00:45	Huber	Implementierung in Word, Vor- und Nachteile Ermüdungsfestigkeit
13.08.2024	16:25	17:20	00:55	Huber	Implementierung in Word, Vor- und Nachteile Ermüdungsfestigkeit
14.08.2024	11:35	12:50	01:15	Huber	Fragen an Lang schreiben, statische Festigkeit Decker
14.08.2024	13:45	14:16	00:31	Huber	Ermüdungsfestigkeit Decker Kerbspannungskonzept Mathcad
14.08.2024	15:45	16:00	00:15	Huber	Ermüdungsfestigkeit Decker Kerbspannungskonzept Mathcad
14.08.2024	16:00	17:45	01:45	Hackl, Gruber, Lang, Huber	Besprechung LeTto, Ermüdungsfestigkeit
14.08.2024	18:00	18:10	00:10	Huber	Besprechungsprotokoll schreiben
14.08.2024	18:40	19:10	00:30	Huber	MDESIGN ausprobieren
17.08.2024	13:45	14:29	00:44	Huber	MDESIGN implementierung der Getriebewelle
17.08.2024	14:30	14:50	00:20	Huber	Rechner Überarbeitung, Roloff/Matek, Fehlersuche

Abbildung 105: Zeitdokumentation Huber 1 (eigene Darstellung)

17.08.2024	14:50	15:30	00:40	Huber	Rechner Überarbeitung, Niemann, Fehlersuche
17.08.2024	15:30	15:45	00:15	Huber	Rechner Überarbeitung, Decker
17.08.2024	15:45	16:00	00:15	Huber	Rechner Überarbeitung, Köhler/Rögnitz
17.08.2024	16:00	16:35	00:35	Huber	Roloff/Matek Zug/Druck hinzufügen
18.08.2024	09:00	11:15	02:15	Huber	Gestellanalyse Inventor: Biegemomenten und Torsionsmomentenverlauf erstellen
18.08.2024	11:15	12:40	01:25	Huber	Roloff/Matek Zug/Druck hinzufügen
18.08.2024	15:30	16:15	00:45	Huber	Decker Passfederberechnung
18.08.2024	16:15	17:21	01:06	Huber	Roloff/Matek Passfederberechnung
18.08.2024	18:10	19:00	00:50	Huber	Decker Passfederberechnung, Werte eintragen, Köhler/Rögnitz
18.08.2024	19:00	19:25	00:25	Huber	Niemann Passfederberechnung
19.08.2024	09:00	10:35	01:35	Huber	Niemann Passfederberechnung
19.08.2024	10:45	11:30	00:45	Huber	Werte passend zu Getriebe von Herrn Professor Lang ändern
19.08.2024	11:30	11:40	00:10	Huber	Excel Vergleich Passfeder
19.08.2024	11:55	12:21	00:26	Huber	Excel Vergleich Passfeder
19.08.2024	12:21	14:10	01:49	Huber	Berechnung Lagerlebensdauer R/M
19.08.2024	15:45	16:40	00:55	Huber	Berechnung unserer Lager
19.08.2024	16:45	17:40	00:55	Huber	MDESIGN Lagerberechnung kennenlernen
19.08.2024	17:40	18:00	00:20	Huber	MDESIGN Passfederberechnung kennenlernen
20.08.2024	09:05	11:30	02:25	Huber	MDESIGN Passfederberechnung vergleichen mit Mathcad, Versuch MDESIGN Wellenmodul
20.08.2024	11:30	12:00	00:30	Huber	Bearbeitung Diplomarbeitsdokumentation
20.08.2024	12:20	15:10	02:50	Huber	Momenten- und Spannungsrechner
20.08.2024	15:45	18:30	02:45	Huber	Skizze anfertigen, Inventor Gestellgenerator
21.08.2024	08:50	12:30	03:40	Huber	Inventor Gestellgenerator Biege- und Torsionsmomentenverlauf
21.08.2024	13:00	14:40	01:40	Huber	Momentenrechner mit Moment durch Axialkraft ausstaten, resultierende Momente und Biegespannungen ausrechnen
21.08.2024	14:40	18:05	03:25	Huber	R/M Lagerkräfte berechnen, Lager neu berechnen
28.08.2024	15:05	17:05	02:00	Huber	Berechnung Lagerkräfte: Festlager Ausgangswelle, Fest- und Loslager Eingangswelle ausgelegt, Gestellanalyse Inventor
28.08.2024	19:00	20:05	01:05	Hackl, Gruber, Lang, Huber	Besprechung LeTo, Passfederberechnung, Gestellanalyse
09.09.2024	10:00	10:35	00:35	Lang, Hackl, Gutmann, Pabisch, Huber	ABA-Portal Einrichtung
23.09.2024	16:17	16:36	00:19	Huber	Meilensteine definieren
27.09.2024	17:30	18:30	01:00	Huber	Druckversion bearbeiten, 1 Meilenstein hinzugefügt
27.09.2024	19:00	19:35	00:35	Huber	Druckversion bearbeiten
01.10.2024	13:50	14:05	00:15	Huber	MDESIGN Testzeitraum beschreiben
01.10.2024	14:10	14:15	00:05	Pabisch, Huber	Einführung und Besprechung des aktuellen Standes mit Pabisch
01.10.2024	14:15	16:00	01:45	Huber	Sheet Lagerberechnung Handrechnung, für Mathcad aufgrund der genauen Beschreibung im Programm nicht nötig
07.10.2024	08:00	09:00	01:00	Hackl, Lang, Huber	Präsentation LeTo mit Herrn Professor Lang abgesprochen und optimiert
11.10.2024	04:50	16:10	11:20	Hackl, Gutmann, Pabisch, Lang, Huber	Exkursion LeTo Mint St. Pölten
12.10.2024	20:30	21:25	00:55	Huber	Sheet Passfederberechnung Handrechnung
12.10.2024	21:25	21:30	00:05	Huber	Beginn Sheet Ermüdungsfestigkeit Handrechnung
13.10.2024	14:50	19:00	04:10	Huber	Sheet Ermüdungsfestigkeit Handrechnung
14.10.2024	10:25	10:45	00:20	Hackl, Gutmann, Pabisch, Lang, Huber	Besprechung Aufgaben mit Lang
14.10.2024	15:25	16:45	01:20	Huber	Exkursionsbericht Sallegger Technologies schreiben
14.10.2024	18:20	19:10	00:50	Huber	Fragen vorbereiten für Besprechung, Fragensuche Ermüdungsfestigkeit
14.10.2024	19:30	20:30	01:00	Huber	Fragen Ermüdungsfestigkeit und Passfederberechnung zusammenschreiben
14.10.2024	21:00	21:20	00:20	Huber	Fragen statische Festigkeit zusammenschreiben
15.10.2024	18:05	19:30	01:25	Huber	Fragen statische Festigkeit zusammenschreiben
16.05.2024	18:05	19:00	00:55	Huber	Sheet statische Festigkeit Handrechnung
16.05.2024	19:45	20:00	00:15	Huber	Ergänzungen Excel Vergleich statische Festigkeit
17.10.2024	09:50	10:35	00:45	Pabisch, Lang, Huber	Fragen zu den Rechnern und zu Nastran
17.10.2024	13:30	14:00	00:30	Lang, Huber	Fortsetzung Fragen zu den Rechnern
17.10.2024	18:55	19:05	00:10	Huber	Antworten dokumentiert
17.10.2024	19:05	20:05	01:00	Huber	Antworten ausgeführt
17.10.2024	20:10	20:20	00:10	Huber	Antworten ausgeführt, Sheet statische Festigkeit Handrechnung fertiggestellt
28.10.2024	17:40	18:10	00:30	Huber	Sheet Ermüdungsfestigkeit Handrechnung, Antworten ausführen
28.10.2024	19:00	20:20	01:20	Huber	Bearbeitung Abgabedokument
29.10.2024	12:00	15:10	03:10	Huber	Bearbeitung Abgabedokument, Vor- und Nachteile
30.10.2024	08:15	09:30	01:15	Huber	Bearbeitung Abgabedokument, Vor- und Nachteile
30.10.2024	10:00	11:50	01:50	Huber	Bearbeitung Abgabedokument, Vor- und Nachteile
30.10.2024	12:15	16:00	03:45	Huber	Hinzufügen der Berechnung für die Streckgrenze der Passfeder in R/M und im Sheet für die Handrechnung
30.10.2024	17:25	19:40	02:15	Huber	Bearbeitung Abgabedokument, Vor- und Nachteile
31.10.2024	09:12	12:00	02:48	Huber	Bearbeitung Abgabedokument, Vor- und Nachteile
01.11.2024	14:05	15:10	01:05	Huber	Bearbeitung Rechner statische Festigkeit
02.11.2024	20:15	21:30	01:15	Huber	Bearbeitung Excel-Vergleichsdokumente, Formatierung Passfeder
03.11.2024	11:30	12:05	00:35	Huber	Bearbeitung Excel-Vergleichsdokumente, Formatierung statische Festigkeit
03.11.2024	15:40	16:20	00:40	Huber	Bearbeitung Excel-Vergleichsdokumente, Formatierung statische Festigkeit
03.11.2024	18:25	20:00	01:35	Huber	Lager für die Konstruktion neu auslegen (Ø Konstruktion), Formatierung Excel-Vergleichsdokument Ermüdungsfestigkeit
04.11.2024	11:10	11:25	00:15	Lang, Huber, Hackl	Fragen über Dokumentation besprochen
04.11.2024	19:00	20:00	01:00	Huber	Berechnung der Passfedern für die Konstruktion
10.11.2024	18:40	19:00	00:20	Huber	Neuberechnung der Passfedern und Lager für die Konstruktion aufgrund von Änderungen
27.11.2024	17:30	19:30	02:00	Huber	Erstellen der Diplomarbeitszwischenpräsentation
09.12.2024	08:25	08:55	00:30	Hackl, Gutmann, Pabisch, Lang, Huber	Durchbesprechen der Folien für die Zwischenpräsentation, Aufgaben definiert
09.12.2024	20:00	20:55	00:55	Huber	Fließschema Passfederberechnung erstellen
28.12.2024	09:15	12:00	02:45	Huber	Fließschema Passfederberechnung erstellen
28.12.2024	17:20	20:30	03:10	Huber	Fließschema Lagerlebensdauerberechnung erstellen
28.12.2024	20:30	20:50	00:20	Huber	Fließschema Lagerkräfteberechnung erstellen
28.12.2024	20:50	22:40	01:50	Huber	Fließschema Zahnkräfteberechnung und Fließschema Ermüdungsfestigkeit erstellen
28.12.2024	22:40	23:28	00:48	Huber	Fließschema Ermüdungsfestigkeit erstellen
29.12.2024	09:00	12:35	03:35	Huber	Fließschema Ermüdungsfestigkeit erstellen
29.12.2024	16:50	17:55	01:05	Huber	Dokumentation
30.12.2024	12:00	17:15	05:15	Huber	Dokumentation
01.01.2025	14:00	16:35	02:35	Huber	Dokumentation, Ordnerstruktur
01.01.2025	19:35	21:45	02:10	Huber	Dokumentation
03.01.2025	10:05	10:35	00:30	Huber	Dokumentation, Nachtrag Quellenangabe Niemann Band 2 und Decker Tabellenbuch
03.01.2025	13:35	15:30	01:55	Huber	Fließschema statische Festigkeit
03.01.2025	16:50	17:44	00:54	Huber	Inventor Gestellgeneratorberechnung für unser Getriebe erstellen
04.01.2025	09:00	10:55	01:55	Huber	Inventor Gestellgeneratorberechnung für unser Getriebe erstellen
04.01.2025	10:55	12:50	01:55	Huber	Problemsuche, Konstruktion hat anderen Abstand als vorgegeben (Mitte Lager zu Mitte Zahnrad), Momentenrechner bearbeiten
04.01.2025	13:00	16:00	03:00	Huber	Neuberechnung der Lager, (Abstand Mitte Lager zu Mitte Zahnrad anders), Dokumentation Gestellanalyse
10.02.2025	10:45	11:00	00:15	Huber, Hackl	PDF-Vorlage erklärt für Flussdiagramm
13.02.2025	13:15	13:50	00:35	Hackl, Gutmann, Pabisch, Lang, Huber	Besprechung vor den Semesterferien, Aufgaben definieren
14.02.2025	07:55	08:50	00:55	Hackl, Huber	Bearbeiten der Druckversion, Vor- und Nachteile
14.02.2025	08:50	10:15	01:25	Huber	Bearbeiten der Druckversion
28.02.2025	08:15	08:25	00:10	Hackl, Huber	Hackl Fließschema durchbesprechen
20.03.2025	10:00	10:20	00:20	Gutmann, Huber	Gutmann Fließschema durchbesprechen
26.03.2025	14:20	15:55	01:35	Pabisch, Huber	Pabisch Werte vergleichen
27.03.2025	10:35	10:50	00:15	Huber	PDF Fließschemata erstellen
27.03.2025	11:00	11:25	00:25	Gutmann, Pabisch, Huber, Lang	Besprechung Dokumentation
01.04.2025	20:00	21:50	01:50	Huber	Formatierung Zeitdokumentation, Besprechungsprotokoll in Dokumentation einfügen
02.04.2025	07:30	08:00	00:30	Huber	Einfügen Zeitdokumentation
03.04.2025	08:50	09:20	00:30	Pabisch, Huber	Pabisch Werte vergleichen
05.04.2025	19:05	23:20	04:15	Huber	Bearbeitung schriftliche Diplomarbeit
06.04.2025	08:55	11:30	02:35	Huber	Bearbeitung schriftliche Diplomarbeit
06.04.2025	13:50	15:00	01:10	Huber	Bearbeitung schriftliche Diplomarbeit
Summe			253:41		

Abbildung 106: Zeitdokumentation Huber 2 (eigene Darstellung)

4.2 Hackl Markus

Datum	von	bis	Dauer [h]	Teilnehmer	Inhalt
07.05.2024	13:30	14:30	01:00	Lang, Gruber, Hackl, Gutmann, Pabisch, Huber	Letto, Erklärung, Grundlegendes, erste Schritte, Login, Kennenlernen
26.06.2024	11:40	13:20	01:40	Gutmann, Hackl, Huber, Pabisch	Besprechen der Aufgaben über die Ferien für die einzelnen Diplomanden
28.06.2024	10:00	12:30	02:30	Lang, Gutmann, Hackl, Huber, Pabisch	Exkursion Firma Salegger
29.07.2024	11:45	12:40	00:55	Huber, Hackl	Einteilung der Arbeitsaufgaben
29.07.2024	13:15	16:45	03:30	Hackl	Mit Gnu Octave rechnen gelernt, Tutorials geschaut und ausprobiert
29.07.2024	17:30	20:20	02:50	Hackl	- -
30.07.2024	06:35	11:45	05:10	Hackl	Scripts und Funktionen erstellt, if, for und while statments
30.07.2024	12:45	16:20	03:35	Hackl	Interpolieren, Polynomfunktionen, solven, andere Dateien importieren
31.07.2024	09:00	12:00	03:00	Hackl	Letto Tutorials anschauen, Basis Kurs grob angeschaut
31.07.2024	13:30	15:20	01:50	Hackl	Weiteres Vorgehen überlegt, mit GNU und Letto verstehen fertig geworden
05.08.2024	06:40	10:00	03:20	Hackl	Die Zahnradberechnung von Roloff/Matek angeschaut und verstehen probiert
05.08.2024	10:00	10:30	00:30	Lang, Hackl	Teamsbesprechung: Meine weiteren Aufgaben, Endziel in Letto sowie GNU
05.08.2024	10:30	13:00	02:30	Hackl	Zahnradberechnung von Köhler/Rögnitz, Nieman und Decker angeschaut
05.08.2024	14:00	17:40	03:40	Hackl	Mathcadrechner für Roloff/Matek angefangen bis Kv
06.08.2024	06:40	12:00	05:20	Hackl	Mathcadrechner weiter gemacht von Kv bis Khges und Kfges
06.08.2024	12:30	16:20	03:50	Hackl	Zahnfußtragfähigkeit ganz und Grübenchtragfähigkeit Flankenpressung
07.08.2024	06:35	12:00	05:25	Hackl	Roloff/Matek Rechner fertig und mit Köhler/Rögnitz Rechner begonnen
07.08.2024	12:30	16:00	03:30	Hackl	Köhler/Rögnitz Rechner fertig und Roloff/Matek kleine Änderungen
08.08.2024	06:35	12:10	05:35	Hackl	Decker Rechner erstellt
08.08.2024	15:40	17:10	01:30	Hackl	LeTto recherchieren für unseren Zweck (Werte importieren, exportieren, Output)
09.08.2024	06:40	12:00	05:20	Hackl	Nieman/Winter Rechner angefangen
09.08.2024	12:30	15:50	03:20	Hackl	Rechner fertig, LeTto weiterrechiert Basiskurs 3-5 genau
10.08.2024	09:00	11:55	02:55	Hackl	Dokumentation und Auswahl des besten Rechenorganges
10.08.2024	12:45	14:20	01:35	Hackl	Dokumentation fertig machen
10.08.2024	16:10	17:50	01:40	Hackl	LeTto weiter rumprobiert und Fragen überlegt für nächstes Meeting
14.08.2024	16:00	17:00	01:00	Gruber, Lang, Huber, Hackl	Besprechung über den Vorgang in Letto
15.08.2024	06:50	12:10	05:20	Hackl	Zahnradberechnung Mathcadrechner in Letto eingeben
15.08.2024	13:50	16:00	02:10	Hackl	Fehler mit dividieren entdeckt und support geschrieben
26.08.2024	06:40	12:00	05:20	Hackl	Zahnradberechnung weiter gemacht
26.08.2024	12:30	17:30	05:00	Hackl	Fehler mit Einheiten entdeckt und Support geschrieben
27.08.2024	06:40	12:00	05:20	Hackl	Zahnradberechnung fertiggestellt
27.08.2024	12:30	14:30	02:00	Hackl	Hubers Rechnungen anschauen, Lagerlebensdauerberechnung verstehen
28.08.2024	08:30	11:20	02:50	Hackl	Decker eingescant für Tabellen und diese in Letto eingefügt
28.08.2024	14:00	16:00	02:00	Hackl	Fehler des Letto rechners behoben + Interpolation hinzugefügt
28.08.2024	19:00	20:00	01:00	Gruber, Lang, Huber, Hackl	Besprechung LeTto, Passfederberechnung, Gestellanalyse
02.09.2024	11:10	12:15	01:05	Hackl	Ersten Letto rechner komplett fertig + richtige Einheitenrechnung, neues Problem entdeckt: Letto kann nicht die ganze Berechnung durchmachen
02.09.2024	12:45	13:45	01:00	Hackl	bevor es aufort zu rechnen
02.09.2024	14:45	16:10	01:25	Hackl	
09.09.2024	10:00	10:35	00:35	Lang, Hackl, Gutmann, Pabisch, Huber	ABA-Portal Einreichung
25.09.2024	13:30	14:05	00:35	Hackl	Meilensteine definieren
06.10.2024	14:00	17:00	03:00	Hackl	Letto Präsentation erstellt
07.10.2024	08:00	09:00	01:00	Hackl, Huber, Lang	Präsentation mit Prof. Lang abgesprochen und optimiert
11.10.2024	04:50	16:10	11:20	Hackl, Gutmann, Pabisch, Lang, Huber	LeTto Präsentation in St. Pölten
13.10.2024	11:00	11:20	00:20	Hackl	Kritik von Präsentation beim Rechner angebracht (vcdot)
14.10.2024	10:25	10:45	00:20	Lang, Hackl, Gutmann, Pabisch, Huber	Besprechung der nächsten Abreitsschritte
02.11.2024	13:45	16:00	02:15	Hackl	Lagerkräfte rechner in Letto einbauen
02.11.2024	16:20	16:50	00:30	Hackl	Dokumentation überlegt
03.11.2024	15:00	18:35	03:35	Hackl	Dokumentation begonnen
04.11.2024	11:10	11:25	00:15	Lang, Huber, Hackl	Fragen über Dokumentation besprochen
27.11.2024	18:15	19:00	00:45	Hackl	Diplomarbeitpräsentation erstellt
09.12.2024	08:25	08:55	00:30	Lang, Hackl, Gutmann, Pabisch, Huber	Diplomarbeitpräsentation mit Lang besprochen + neue Ziele (Flussdiagramm)
09.12.2024	15:30	16:30	01:00	Hackl	Diplomarbeitpräsentation A3 Blatt gestaltet
21.12.2024	09:30	10:30	01:00	Hackl	Für das Letto YT-Video angeschaut wie ich es erstellen könnte
24.12.2024	12:30	15:30	03:00	Hackl	Anleitungen Flussdiagramm geschrieben + gestalten begonnen
25.12.2024	07:00	12:00	05:00	Hackl	Einleitung und Ende geschrieben, PPP verändert, Videoinhalt überlegt
26.12.2024	07:00	12:00	05:00	Hackl	durchgeprobt, verbessert, Video aufgenommen, geschnitten, heruntergeladen
29.12.2024	17:00	17:30	00:30	Hackl	YT Video mit geteiltem Ordner an Daniel von Letto geschickt
30.12.2024	07:30	08:00	00:30	Hackl	YT Video anders schicken versucht da nicht funktioniert
30.12.2024	08:00	12:00	04:00	Hackl	Dokumentation begonnen, durchgelesen, Vor- und Nachteile der Berechnungen
02.01.2025	13:00	17:00	04:00	Hackl	Doku weitergeschrieben, Abbildungenbezeichnung + Fußnoten angeschaut
03.01.2025	07:00	12:00	05:00	Hackl	Letto Erklärung anhand Bsp
03.01.2025	13:00	17:00	04:00	Hackl	Dokumentation fertig, Abbildungen, Fußnoten, Erklärung mit Bsp
10.02.2025	10:45	11:00	00:15	Huber, Hackl	PDF-Vorlage erklärt für Flussdiagramm
13.02.2025	13:15	13:55	00:40	Lang, Hackl, Gutmann, Pabisch, Huber	DA-Besprechung
14.02.2025	07:55	08:50	00:55	Huber, Hackl	Vor- & Nachteile für Berechnungsarten zusammen angepasst
14.02.2025	08:50	10:00	01:10	Hackl	Im Literaturverzeichnis GNU und Letto eingefügt, Änderungen an Dokumentation
21.02.2025	08:00	12:30	04:30	Hackl	Pdf-Flussdiagramme erstellt (ohne glg da kein Buch)
28.02.2025	08:15	08:25	00:10	Huber, Hackl	Flussdiagramme durchbesprochen
28.02.2025	08:30	10:00	01:30	Hackl	Letto Problem herausfinden/dokumentieren+gelöst
01.03.2025	11:30	12:30	01:00	Hackl	Flussdiagramm mit Decker verfullständigen
01.03.2025	12:45	14:15	01:30	Hackl	Flussdiagramm mit Decker verfullständigen
01.04.2025	12:20	13:05	00:45	Hackl	Erste Seiten der Diplomarbeitdokumentation ausgefüllt
03.04.2025	08:40	09:15	00:35	Hackl	Zusammenfassung schreiben
06.04.2025	18:00	18:30	00:30	Hackl	Finalisieren und zum Ausdrucken bereit machen
Summe			183:00		

Abbildung 107: Zeiddokumentation Hackl (eigene Darstellung)

4.3 Gutmann Sven

Datum	von	bis	Dauer [h]	Teilnehmer	Inhalt
07.05.2024	13:30	14:30	01:00	Gutmann, Hackl, Huber, Pabisch, Lang, Gruber	Besprechung über Letto
16.06.2024	11:40	13:20	01:40	Gutmann, Hackl, Huber, Pabisch, Lang	Spezifische Aufgabenstellung für jeden
28.06.2024	10:00	12:30	02:30	Gutmann, Hackl, Huber, Pabisch, Lang	Besuch der Firma Salteger
20.08.2024	10:15	11:30	01:15	Gutmann	Recherche über Vaultprojekt (PDM/PLM)
22.08.2024	14:45	16:30	01:45	Gutmann	Recherche über Vaultprojekt (PDM/PLM)
23.08.2024	11:30	13:15	01:45	Gutmann	Getriebeaufbau (Überlegung/Skizze)
09.09.2024	10:00	10:35	00:35	Gutmann, Hackl, Huber, Pabisch, Lang	Besprechung des aktuellen Standes
07.10.2024	09:45	10:45	01:00	Gutmann	Eintragen der Meilensteine und der individuelle Themenstellung
11.10.2024	05:00	17:00	12:00	Gutmann, Hackl, Huber, Pabisch, Lang, Gruber	Letto Präsentation in St. Pölten
14.10.2024	10:25	10:45	00:20	Gutmann, Hackl, Huber, Pabisch, Lang	Besprechung
15.10.2024	20:30	21:00	00:30	Gutmann	Parameter für Konstruktion
16.10.2024	17:00	19:00	02:00	Gutmann	Parameter für Konstruktion
20.10.2024	17:45	19:15	01:30	Gutmann	Inventor Vaultprojekt erstellen (nicht bei Schülerlizenz erhalten); Parameter in Inventor eintragen
23.10.2024	10:30	10:50	00:20	Gutmann, Lang	Besprechung über Vaultprojekt (Schülerlizenz gilt nicht; kein Test Bsp. möglich)
29.10.2024	11:30	12:30	01:00	Gutmann	Parameter für Konstruktion
29.10.2024	16:00	18:30	02:30	Gutmann	Parameter für Konstruktion; konstruieren der Wellen + Zahnräder
30.10.2024	15:15	17:00	01:45	Gutmann	konstruieren der Wellen + Zahnräder
31.10.2024	15:15	16:30	01:15	Gutmann	konstruieren der Wellen + Zahnräder
02.11.2024	13:30	16:45	03:15	Gutmann	konstruieren der Wellen + Zahnräder; Passfedern Berechnung
03.11.2024	11:45	13:45	02:00	Gutmann	konstruieren der Wellen + Zahnräder; Passfedern Berechnung
03.11.2024	14:15	17:30	03:15	Gutmann	Passfeder; Abstandsring; Lager
04.11.2024	18:30	20:30	02:00	Gutmann	konstruieren der Wellen + Lager; Vaultprojekt
05.11.2024	17:15	19:30	02:15	Gutmann	Lager; Passfeder; Sicherungsring; Wellenmutter & Sicherungsscheibe
10.11.2024	10:30	12:30	02:00	Gutmann	Keilnutritille; Welle umändern
10.11.2024	13:45	16:30	02:45	Gutmann	Welle umändern; Gehäuse
14.11.2024	16:30	19:15	02:45	Gutmann	Welle umändern; Gehäuse
15.11.2024	14:45	16:30	01:45	Gutmann	Welle umändern; Gehäuse
16.11.2024	12:45	15:00	02:15	Gutmann	Gehäuse
17.11.2024	11:15	12:00	00:45	Gutmann	Gehäuse
17.11.2024	15:30	17:15	01:45	Gutmann	Gehäuse
18.11.2024	14:30	16:30	02:00	Gutmann	Gehäuse
22.11.2024	14:15	15:15	01:00	Gutmann	Step-Datei (für Pabisch)
22.11.2024	17:30	18:30	01:00	Gutmann	Gehäuse
24.11.2024	13:45	15:30	01:45	Gutmann	Gehäuse
28.11.2024	17:00	18:30	01:30	Gutmann	Gehäuse
10.12.2024	18:00	18:30	00:30	Gutmann	Zwischenpräsentation
11.12.2024	16:00	19:15	03:15	Gutmann	Gehäuse (Neubeginn)
13.12.2024	17:30	20:00	02:30	Gutmann	Gehäuse
25.12.2024	12:30	14:30	02:00	Gutmann	Gehäuse
27.12.2024	11:00	13:30	02:30	Gutmann	Gehäuse
27.12.2024	15:30	17:30	02:00	Gutmann	Gehäuse
29.12.2024	14:00	17:30	03:30	Gutmann	Gehäuse; Parameter
30.12.2024	11:00	12:30	01:30	Gutmann	Gehäuse; Parameter
30.12.2024	14:30	15:30	01:00	Gutmann	Gehäuse
02.01.2025	10:00	12:00	02:00	Gutmann	Gehäuse
02.01.2025	13:45	17:00	03:15	Gutmann	Gehäuse
03.01.2025	14:15	18:00	03:45	Gutmann	Gehäuse; Vaultprojekt; Beginn mit Zeichnungsableitung
04.01.2024	09:30	12:00	02:30	Gutmann	Zeichnungsableitung; Problem bei Lagerdeckel beheben
06.01.2024	11:00	13:00	02:00	Gutmann	Vaultprojekt; Zeichnungsableitung
11.01.2024	10:00	11:15	01:15	Gutmann	O-Ring Einbaumaße; Gehäuse
13.02.2024	13:15	13:55	00:40	Gutmann, Hackl, Huber, Pabisch, Lang	Besprechung
14.02.2024	07:50	10:15	02:25	Gutmann	Zeichnungsableitung; Gehäuse
15.02.2024	12:30	13:00	00:30	Gutmann, Lang	Besprechung
18.02.2024	09:15	10:15	01:00	Gutmann	Gehäuse; Besprechungsprotokoll
20.02.2024	15:15	19:30	04:15	Gutmann	Gehäuse
22.02.2024	09:00	11:00	02:00	Gutmann	Gehäuse
24.02.2024	16:00	18:30	02:30	Gutmann	Gehäuse
28.02.2024	07:50	10:15	02:25	Gutmann	Dokumentation; Vaultprojekt
07.03.2024	13:15	16:00	02:45	Gutmann	Dokumentation; Vaultprojekt
10.03.2024	16:30	19:30	03:00	Gutmann	Dokumentation
13.03.2024	15:00	18:00	03:00	Gutmann	Dokumentation
14.03.2024	16:00	19:00	03:00	Gutmann	Dokumentation
15.03.2024	14:00	18:30	04:30	Gutmann	Dokumentation
20.03.2024	15:00	18:00	03:00	Gutmann	Dokumentation
21.03.2024	07:50	10:15	02:25	Gutmann	Dokumentation
21.03.2024	15:00	18:00	03:00	Gutmann	Dokumentation
22.03.2024	09:00	12:30	03:30	Gutmann	Dokumentation
23.03.2024	15:00	19:00	04:00	Gutmann	Dokumentation; Zeichnungsableitung
24.03.2024	15:30	19:00	03:30	Gutmann	Dokumentation; Zeichnungsableitung
25.03.2024	18:00	21:00	03:00	Gutmann	Dokumentation; Vaultprojekt
27.03.2024	18:00	21:00	03:00	Gutmann	Getriebe ändern (Lagerblock, Baugruppe Gehäuse_gesamt)
28.03.2024	14:45	17:00	02:15	Gutmann	Getriebe ändern; Dokumentation
30.03.2024	12:30	14:30	02:00	Gutmann	Dokumentation; Vaultprojekt
01.04.2024	17:30	19:30	02:00	Gutmann	Dokumentation; Vaultprojekt; Zeichnungsableitung
02.04.2024	17:00	23:00	06:00	Gutmann	Dokumentation; Vaultprojekt; Zeichnungsableitung
03.04.2024	15:00	17:00	02:00	Gutmann	Dokumentation; Vaultprojekt; Zeichnungsableitung
04.04.2024	15:30	17:30	02:00	Gutmann	Dokumentation; Vaultprojekt
05.04.2024	13:00	16:30	03:30	Gutmann	Dokumentation; Vaultprojekt; Zeichnungsableitung
06.04.2024	08:30	11:30	03:00	Gutmann	Dokumentation; Vaultprojekt; Zeichnungsableitung
Summe			182:20		

Abbildung 108: Zeitdokumentation Gutmann (eigene Darstellung)

4.4 Pabisch Florian

Datum	von	bis	Dauer [h]	Teilnehmer	Inhalt
07.05.2024	13:30	14:30	01:00	Lang, Gruber, Hackl, Gutmann, Pabisch, Huber	Letto, Erklärung, Grundlegendes, erste Schritte, Login, Kennenlernen,
26.06.2024	11:40	13:20	01:40	Gutmann, Hackl, Huber, Pabisch	Besprechen der Aufgaben über die Ferien für die einzelnen Diplomanden
27.06.2024	13:00	13:40	00:40	Pabisch	Downlod ANSYS 2024 R2
09.09.2024	10:00	10:25	00:25	Pabisch, Hackl, Huber, Gutmann	Besprechung des aktuellen Standes
28.06.2024	10:00	12:30	02:30	Lang, Gutmann, Hackl, Huber, Pabisch	Exkursion Firma Salegger
01.10.2024	14:10	15:05	00:55	Pabisch	Eintragen der Details ins Word (Antrag)
07.10.2024	08:00	09:25	01:25	Pabisch	Überarbeiten des Antrags
11.10.2024	04:50	15:50	11:00	Lang, Gutmann, Hackl, Huber, Pabisch	Diplomarbeitpräsentation (LeTto) in St. Pölten
14.10.2024	10:25	10:45	00:20	Lang, Gutmann, Hackl, Huber, Pabisch	Besprechung vom aktuellen Stand und Auftrag bis zur nächsten Besprechung
14.10.2024	16:00	18:00	02:00	Pabisch	Installation von Nastran jedoch gescheitert und Recherche zur Installation
17.10.2024	09:55	10:35	00:40	Lang, Pabisch, Huber	erfolgreiche Installation von Nastran und erste Versuche Nastran zu verwenden (Rundstab)
17.10.2024	17:00	18:00	01:00	Pabisch	Ausprobieren der Nastran Funktionen mit Hilfe eines Rundstabes
18.10.2024	18:00	18:50	00:50	Pabisch	Beginn der Dokumentation der Rundstab-Analyse
19.10.2024	17:20	18:30	01:10	Pabisch	Weiterführung der Dokumentation
25.10.2024	15:50	16:45	00:55	Pabisch	Fertigstellung der Dokumentation für Nastran
26.10.2024	16:00	18:20	02:20	Pabisch	Dokumentation von der Inventor Bauteilanalyse
03.11.2024	16:45	18:20	01:35	Pabisch	Fertigstellung der Dokumentation für die Bauteilanalyse und Nachrechnung in Ecetl
17.11.2024	17:35	19:10	01:35	Pabisch	Recherche zu der Wellenanalyse
02.12.2024	18:00	18:20	00:20	Pabisch	Fehleranalyse weil Ritzel fehlerhaft ist
03.12.2024	20:00	22:00	02:00	Pabisch	Probeanalyse mit Fehlerhafter Welle
09.12.2024	08:00	08:50	00:50	Pabisch	Präsentation fertigstellen
21.12.2024	07:40	10:30	02:50	Pabisch	Beginn Ritzelwelle Analyse (Probegetriebe in Ansys und Bgeinn der Doku (Sven Teile nicht richtig bzw. fehlerhaft))
21.12.2024	11:00	11:30	00:30	Pabisch	Weiterführung der Dokumentation und der Analyse in ANSYS (ANSYS Fehler deswegen kann die Analyse nicht weitergeführt werden)
21.12.2024	11:30	12:47	01:17	Pabisch	Aufbereitung und Beginn der Analyse der Ritzelwelle des Probegetriebes in Inventor Bauteilanalyse
21.12.2024	13:00	13:40	00:40	Pabisch	Weiterführung der Inventor Bauteilanalyse
22.12.2024	10:30	11:50	01:20	Pabisch	Beginn Doku zur Aufbereitung für Inventor Bauteilanalyse
22.12.2024	12:50	15:30	02:40	Pabisch	Weiterführung der Doku zur Aufarbeitung für Inventor Bauteilanalyse und weiterführung der Analyse bzw. Fehlersuche
23.12.2024	14:00	15:00	01:00	Lang, Pabisch	Besprechung zur Analyse der Ritzelwelle siehe Besprechungsprotokoll
23.12.2024	14:30	15:15	00:45	Pabisch	Schreiben des Besprechungsprotokolls
26.12.2024	10:00	13:00	03:00	Pabisch	Neu installieren von ANSYS 2024 R2 und beginn der Werte ins txt eintragen und diese dann in ANSYS implementieren
26.12.2024	14:00	17:10	03:10	Pabisch	Fehlersuche der Installation von ANSYS und Versuch der Fehlerbehebung damit ANSYS wieder funktioniert
27.12.2024	09:00	11:30	02:30	Pabisch	Analyse in ANSYS in der Schule da dies zuhause nicht möglich ist
27.12.2024	11:30	12:30	01:00	Lang, Pabisch	Besprechung der Analyse Ritzelwelle in ANSYS als Shaft siehe Besprechungsprotokoll
27.12.2024	12:30	14:20	01:50	Pabisch	Analyse in ANSYS wie Besprochen in Teams Biegemoment und Torsionsmoment
28.12.2024	17:30	20:30	03:00	Pabisch	ANSYS Installationsversuch-Erfolgreich und Test von den wichtigen Funktionen und nachträgliches schreiben des Besprechungsprotokolls
29.12.2024	09:00	12:00	03:00	Pabisch	Beginn der Dokumentation von ANSYS Ritzelwelle
29.12.2024	19:00	21:50	02:50	Pabisch	Weiterführung der Dokumentation
30.12.2024	11:00	13:30	02:30	Pabisch	Weiterführung der Dokumentation und Fertigstellung der Ritzelwelle und Beginn der Doku für die Antriebswelle
31.12.2024	17:00	20:00	03:00	Pabisch	Weiterführung der Abtriebswellendokumentation
02.01.2025	12:00	13:10	01:10	Pabisch	Verfeinerung und Fertigstellung der Analyse Doku für beide Wellen in ANSYS
02.01.2025	14:10	15:30	01:20	Pabisch	Doku der Aufbereitung der txt-Datei für ANSYS für die Ritzelwelle und die Abtriebswelle
02.01.2025	16:10	16:30	00:20	Pabisch	Fertigstellung der beiden Dokus für die Aufbereitung
02.01.2025	16:30	18:00	01:30	Pabisch	Nastran Abtriebswellen Aufbereitung (Fragen zur Aufbereitung)
03.01.2025	13:00	13:50	00:50	Pabisch, Sven	Beginn der Doku für Auflagerkräfte anzeigen in ANSYS und Telefonat mit Sven wegen Ritzelwelle und Neuzerzahnung nach Hab.
03.01.2025	15:00	17:15	02:15	Pabisch	Beginn der Analyse der Ritzelwelle in ANSYS und zuvor die Aufbereitung der Ritzelwelle für unser Mustergetriebe
03.01.2025	17:40	19:05	01:25	Pabisch	Weiterführung der Analyse Doku zur Auflageranzeige und Fertigstellung
04.01.2025	13:30	14:05	00:35	Pabisch, Huber	Telefonat mit Huber zum Wertevergleichen und Fehlerbesprechen der Kräfte
04.01.2025	14:05	17:00	02:55	Pabisch	Analyse in der Abtriebswelle und die Aufbereitung in Inventor dazu noch der Beginn der Doku, Neuerstellung der Analyse weil Lincens zu gering
05.01.2025	10:00	11:45	01:45	Pabisch	Fehlerbehebung und ausbessern der Analyse-Doku
05.01.2025	11:45	12:30	00:45	Pabisch	Beginn der Dokumentation der Aufbereitung der Ritzelwelle für ANSYS
05.01.2025	12:30	13:30	01:00	Pabisch	Weiterführung und Fertigstellung der Doku für die Aufbereitung der Ritzelwelle für ANSYS
05.01.2025	13:30	15:00	01:30	Pabisch	Beginn und Fertigstellung der Doku für Aufbereitung der Abtriebswelle für ANSYS
06.01.2025	11:30	11:50	00:20	Pabisch	Nach Recherche, zweiter Versuch der Fehlerbehebung des abweichenden Ergebnisses (nicht das Problem)
06.01.2025	11:50	13:00	01:10	Pabisch	Nastran Ritzelwellenaufbereitung und erster Rechenversuch (Fehler gefudnen falsche Lagerbreite angenommen)
06.01.2025	13:00	14:00	01:00	Pabisch	ANSYS ausbessern der Lagerbreite und anschließendes ausbessern des Fehlers in der Doku
06.01.2025	16:20	18:05	01:45	Pabisch	Beginn und Fertigstellung der Doku für die Aufbereitung der Ritzelwelle für die Nastran Analyse der Auflagerkräfte
07.01.2025	14:20	16:45	02:25	Pabisch	Erstellen der Doku zur Aufbereitung der Abtriebswelle und die Aufbereitung
09.01.2025	10:45	11:25	00:40	Pabisch	Erstellen der Doku für die Nastran-Analyse der Ritzelwelle
09.01.2025	11:35	12:25	00:50	Pabisch	Weiterführung und Fertigstellung der Doku für die Ritzelwelle in Nastran
11.01.2025	15:00	17:00	02:00	Pabisch	Erstellen der Analyse und der Doku für die Antriebswelle (einige Probleme beim erstellen der Analyse)
11.01.2025	17:00	17:40	00:40	Pabisch	Erstellen der Aufbereitungen der Ritzelwelle und Abtriebswelle für Inventor und die Aufbereitungs Doku
11.01.2025	17:40	18:00	00:20	Pabisch	Erstellen der Analyse der FE-Inventor für die Ritzelwelle
12.01.2025	14:00	15:00	01:00	Pabisch	Weiterführung der Analyse und Beginn und Fertigstellung der Dokumentation
12.01.2025	15:00	15:15	00:15	Pabisch	Beginn der Abtriebswellen Analyse und der Doku der Auflagerkräfte in Inventor
12.01.2025	20:00	23:45	03:45	Pabisch	Fertigstellung von Analyse und Doku
13.02.2025	13:15	14:05	00:50	Lang, Pabisch, Hackl, Huber, Gutmann	Besprechung des aktuellen Standes
08.03.2025	11:50	14:15	02:25	Pabisch	Aufbereitung und Analyse Recherche
08.03.2025	14:50	15:15	00:25	Pabisch	Analyse beginn
10.03.2025	16:00	18:00	02:00	Pabisch	Fehlerbehebung von der Aufbereitung, da Dateien wieder vknüpfen und Musternanalyse verstehen und übertragen
10.03.2025	18:30	19:50	01:20	Pabisch	Versuch der Analyse, gescheitert analyse funktioniert nicht wie geplant
10.03.2025	20:10	21:00	00:50	Pabisch	Erneuter Versuch der Analyse, nicht 100% richtig
11.03.2025	19:00	20:20	01:20	Pabisch	Fehlersuche und Abgleich mit Muster von Prof. Lang, nicht ganz erklärbar der Fehler
15.03.2025	12:00	14:05	02:05	Pabisch	Beginn der Dokumentation der Diplomarbeit, recherche zu den Analyse arten
15.03.2025	15:05	17:00	01:55	Pabisch	Weiterführung der Recherche für die Doku
19.03.2025	11:30	14:50	03:20	Pabisch	Versuch der Analyse in ANSYS deas Zusammenbaues und Weiterführung der Dokumentation
19.03.2025	15:10	16:45	01:35	Pabisch	Dokumentation
20.03.2025	08:45	13:00	04:15	Pabisch	Dokumentation
20.03.2025	14:30	17:30	03:00	Pabisch	Dokumentation
21.03.2025	14:15	19:30	05:15	Pabisch	Dokumentation
22.03.2025	12:00	16:20	04:20	Pabisch	Dokumentation
25.03.2025	16:45	18:00	01:15	Lang, Pabisch	Besprechung der Doku und der Stirnradanalyse
26.03.2025	07:50	08:20	00:30	Pertl, Pabisch	Besprechung der Doku und der Stirnradanalyse
26.03.2025	14:20	15:55	01:35	Huber, Pabisch	Werte vergleichen
27.03.2025	08:40	09:40	01:00	Pabisch	Analyse der Stirnradstufe wie besprochen
28.03.2025	07:50	10:15	02:25	Pabisch	Dokumentation weiterführen
28.03.2025	15:40	18:30	02:50	Pabisch	Dokumentation weiterführen
29.03.2025	10:00	12:15	02:15	Pabisch	Dokumentation weiterführen und alle Bilder einfügen
29.03.2025	14:00	16:45	02:45	Pabisch, Huber	Versuch der Richtigstellung der Auflagerkräfte
29.03.2025	17:20	17:42	00:22	Pabisch	Beginn der Anleitung der Stirnradstufe
31.03.2025	17:45	23:40	05:55	Pabisch	Übertargen der Doku in die Finale Datei (inklusive eintragen der Quellen)
31.03.2025	23:40	00:00	00:20	Pabisch	Vor-Nachteile fertigstellen und schreiben
01.04.2025	00:00	00:30	00:30	Pabisch	Vor-Nachteile fertigstellen und schreiben
01.04.2025	00:30	02:30	02:00	Pabisch	Balkenmodell Kräfte und Momente für Auflagerkraft beim Balkenmodell Korrekturversuch und alle Volumenmodelle und Stirnradstufe

Abbildung 109: Zeitdokumentation Pabisch 1 (eigene Darstellung)

03.04.2025	08:50	09:20	00:30	Huber, Pabisch	Kontrolle Huber Auflagerkräfte
03.04.2025	17:00	18:30	01:30	Pabisch	Fehlersuche des Balkenmodells
03.04.2025	19:30	23:00	03:30	Pabisch	Fehlerbehebung des Balkenmodells (Herausschreiben aller Ergebnisse der Ritzelwelle) Abtriebswelle und Ritzelwelle ident zu Huber
04.04.2025	13:15	15:20	02:05	Kogler, Pabisch	Durchführung der Analyse und der Aufbereitung der Ritzelwelle Volumen und Balkenmodell ANSYS, Inventor und Verbesserungsvorschläge
04.04.2025	18:00	20:00	02:00	Pabisch	Fehlersuche im Balkenmodell
04.04.2025	20:00	20:30	00:30	Lang, Pabisch	Besprechung was alles offen ist
05.04.2025	12:00	14:00	02:00	Pabisch	Schreiben des Verbesserungsvorschläge von Niklas Kogler
05.04.2025	17:00	18:00	01:00	Pabisch	Schreiben der Danksagung und Beschreibung der Volumenmodelle und Balkenmodelle
05.04.2025	19:30	22:30	03:00	Pabisch	Doku des Rundstabs in NASTRAN, erstellen der Tabellen der Ergebnisauswertung und Durchlesen der bisher geschriebenen auf Fehler
05.04.2025	22:30	00:00	01:30	Pabisch	Eintragen der Ergebnisse in die Tabellen komplikationen in der Analyse und beim auslesen der Ergebnisse und Bilder der Deformation einfügen
06.04.2025	00:15	01:00	00:45	Pabisch	Vor- Nachteile ergänzen und die Downloadquellen zitieren
06.04.2025	10:00	12:00	02:00	Pabisch	Korrekturlesen mit meiner Mutter
06.04.2025	13:30	17:00	03:30	Pabisch	Zusammenfassung schreiben Anleitungen ergänzen und die Protokolle fertigstellen und Fußnoten und Vergleiche einfügen
Summe			187:59		

Abbildung 110: Zeiddokumentation Pabisch 2 (eigene Darstellung)

5 Zusammenfassung

5.1 Huber Jonas

Im Zuge der Diplomarbeit wird eine kurze Recherche einiger Berechnungsprogramme gemacht. Außerdem wird analysiert, welcher der Berechnungsabläufe aus 4 Lehrbüchern von Ermüdungsfestigkeit, statische Festigkeit, Lagerlebensdauerberechnung und Passfederberechnung für die zu Lehrenden am besten geeignet ist. Dafür werden Vor- und Nachteile herausgearbeitet. Teilweise werden dafür Berechnungen durchgeführt. Im Anschluss wird unter anderem zum ausgewählten Berechnungsablauf ein Fließschema erstellt, das dazu motivieren soll, Eigeninitiative im Unterricht zu zeigen und sich selbstständig an gewisse Berechnungen zu trauen.

Die Analyse ergibt, dass die Berechnungsabläufe nach *Roloff/Matek* für die zu Lehrenden am besten geeignet ist. Das wird aufgrund von Vor- und Nachteilen dargelegt.

Außerdem werden die Lager sowie die Passfedern unseres Beispielgetriebes nach dem ausgewählten Berechnungsablauf berechnet. Die Auflagerkräfte, Spannungen und Momente werden mit einer Inventor Gestellanalyse überprüft.

Um Lizenzen des Programmes MDESIGN zu erhalten, wird das Unternehmen kontaktiert und eine online Besprechung abgehalten.

5.2 Hackl Markus

Die ausgewählten Berechnungsvorgänge werden in die E-Learning-Plattform LeTTo implementiert. Zu Beginn gibt es eine Eingabetabelle, in der alle angegebenen Werte eingetragen werden. Danach ist die vollständige Berechnung schrittweise und in Reihenfolge dargestellt. Alle Formeln sowie Tabellen sind ebenfalls im Programm enthalten. Dadurch kann ein Benutzer auf den ganzen Berechnungsablauf mit allen Formeln und Tabellen zugreifen und muss diesen nicht mühsam aus den Büchern herauslesen. Zu jedem Rechenschritt gibt es ein Eingabefeld, indem der berechnete Wert verglichen werden kann. Die dazugehörige Einheit ist ebenfalls einzugeben, um eine richtige und vollständige Berechnung zu gewährleisten. Eine für den Schulunterricht wichtige Funktion ist, dass keine Ergebnisse angezeigt werden und nur eingegebene Werte verglichen, werden können.

5.3 Gutmann Sven

Eine Recherche über das Thema Vaultprojekt und das Erstellen eines kurzen Bsp., welches allerdings nicht gemacht werden kann, da die Schülerlizenz zum Herunterladen des benötigten Programmes nicht ausreichend ist.

Die Konstruktion eines Getriebes mit Schrägverzahnung und einem geschweißten Getriebegehäuse mit horizontaler Teilung. Die Konstruktion beinhaltet selbst konstruierte Bauteile sowie ausgewählte Normteile. Zu Beginn werden die benötigten Parameter für die Konstruktion berechnet. Im Anschluss daran werden Getriebe und Gehäuse konstruiert sowie eine Zusammenstellungszeichnung des gesamten Getriebes und eine Fertigungszeichnung der Ritzelwelle erstellt.

5.4 Pabisch Florian

Im Zuge des Diplomarbeitsteils der FINITE-Elemente Berechnung, wird eine Recherche zu den einzelnen Softwarepaketen durchgeführt. Um einen Einblick in das neue Programm NASTRAN zu bekommen, wird ein einfaches Beispiel aufgesetzt und analysiert. Weiters werden die einzelnen Geometrien des Volumenmodells und des Balkenmodells beschrieben. Danach werden die einzelnen Aufbereitungen der Geometrien erklärt. In weiterer Folge werden die einzelnen Randbedingungen, die die Grundlage der Analyse bilden, für die Programme ANSYS, NASTRAN und Inventor-Bauteilanalyse, beschrieben und festgelegt. Um dies in der HTL zu standardisieren und den Unterricht in Zukunft zu vereinfachen, werden zu jeder Aufbereitung und Analyse, Anleitungen verfasst, mit denen Schülerinnen und Schüler, Schritt für Schritt, durch die Analyse geführt werden. Als letztes wird die Stirnradstufe in ANSYS analysiert und das Moment an der Ritzelwelle ausgewertet. Auch zu dieser Analyse wird zur Vereinfachung, eine detaillierte Schritt- für Schritt Anleitung erstellt. Die Analyse des Gehäuses wird aus zeittechnischen Gründen weggelassen.

Während der Analyse sind einige Herausforderungen aufgetreten, die zu Abweichungen in den Ergebnissen geführt haben. Das Balkenmodell in ANSYS ist das einzige Modell, das mit den Werten der Auflagerkräfte, der Inventor-Gestellanalyse und der Mathcad-Rechnung, übereinstimmt. Dies liegt daran, dass das Modell 1:1 in ANSYS aufgesetzt ist und alle Kräfte und Momente direkt auf der Wellenachse aufgebracht sind. Ein Fehler, bezüglich der Spannungen und Verformungen, liegt darin, dass im Balkenmodell der Fußkreisdurchmesser verwendet wird und nicht der Teilkreisdurchmesser. Bei dem Volumenmodell von ANSYS ist der vermeintliche Fehler, die Kraftaufbringung entlang der gesamten Linie der Zahnflanke, da bei Aufbringung einzelner Kräfte, auch andere Kraftkomponenten, auf die Lagerstellen wirken. Diese Kraftkomponenten dürfen jedoch nicht auftreten. Bei den Volumenmodellen in NASTRAN und der Inventor-Bauteilanalyse liegt der Fehler in der PIN-Abhängigkeit. Diese ist aufgrund der Position und der wenigen einstellbaren Parameter sehr ungenau. Dies betrifft auch die Spannungen und Verformungen in den Wellen.

6 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Fließschema Passfederberechnung	IV
Abbildung 2: Fließschema Passfederberechnung	VI
Abbildung 3: Berechnungsvergleich Passfeder, nach Roloff/Matek und Niemann (eigene Darstellung)	22
Abbildung 4: Längenfaktor k_1 (DIN 6892) (Niemann, Winter, & Höhn, Maschinenelemente Band 1: Konstruktion und Berechnung von Verbindungen, Lagern, Wellen, 2005, S. 821)	22
Abbildung 5: Lastverteilungsfaktor K_λ (Wittel, Jannasch, Voßiek, & Spura, Roloff/Matek Maschinenelemente Tabellenbuch, 2019, S. 185)	23
Abbildung 6: Auflagerkräfte Ausgangswelle skizziert (eigene Darstellung).....	37
Abbildung 7: Auflagerkräfte Eingangswelle skizziert (eigene Darstellung)	38
Abbildung 8: Mathcad Momentenverlauf Ausgangswelle Ebene XZ (eigene Darstellung)	39
Abbildung 9: Mathcad Momentenverlauf Ausgangswelle Ebene XY (eigene Darstellung)	39
Abbildung 10: Mathcad Momentenverlauf Eingangswelle Ebene XZ (eigene Darstellung)	40
Abbildung 11: Mathcad Momentenverlauf Eingangswelle Ebene XY (eigene Darstellung)	40
Abbildung 12: Momentenverläufe Ausgangswelle (eigene Darstellung)	41
Abbildung 13: Momentenverläufe Eingangswelle (eigene Darstellung).....	41
Abbildung 14: Gestellanalyse Momentenverlauf Ausgangswelle Ebene XZ (eigene Darstellung)	42
Abbildung 15: Gestellanalyse Momentenverlauf Ausgangswelle Ebene XY (eigene Darstellung)	42
Abbildung 16: Gestellanalyse Momentenverlauf Eingangswelle Ebene XZ (eigene Darstellung)	43
Abbildung 17: Gestellanalyse Momentenverlauf Eingangswelle Ebene XY (eigene Darstellung)	43
Abbildung 18: Fließschema Ermüdungsfestigkeit (eigene Darstellung).....	44
Abbildung 19: Bereiche in LeTTo (Eigene Darstellung, Version 1.2 - Rev: 6613(LeTTo)).....	49
Abbildung 20: Fragenbereich (Eigene Darstellung, Version 1.2 - Rev: 6613(LeTTo))	50
Abbildung 21: Maximaberechnung (Eigene Darstellung, Version 1.2 - Rev: 6613(LeTTo)).....	51
Abbildung 22: Mehrfach-Berechnungsfrage (Eigene Darstellung, Version 1.2 - Rev: 6613(LeTTo)).....	51
Abbildung 23: Bearbeitungsleiste (Eigene Darstellung, Version 1.2 - Rev: 6613(LeTTo)).....	51

Abbildung 24: Tabelleneingabe (Eigene Darstellung, Version 1.2 - Rev: 6613(LeTTo))	52
Abbildung 25: Formeleingabe (Eigene Darstellung, Version 1.2 - Rev: 6613(LeTTo))	52
Abbildung 26: Eingabefelder (Eigene Darstellung, Version 1.2 - Rev: 6613(LeTTo))	52
Abbildung 27: Berechnungsfelder (Eigene Darstellung, Version 1.2 - Rev: 6613(LeTTo))	53
Abbildung 28: Zuweisung (Eigene Darstellung, Version 1.2 - Rev: 6613(LeTTo))	53
Abbildung 29: Berechnung (Eigene Darstellung, Version 1.2 - Rev: 6613(LeTTo))	53
Abbildung 30: Parameter- Excel Form (eigene Darstellung)	56
Abbildung 31: Ritzelwelle (eigene Darstellung)	56
Abbildung 32: Stirnräder (eigene Darstellung)	56
Abbildung 33: Abtriebswelle (eigene Darstellung)	57
Abbildung 34: Bohrung+Nut für Abtriebswelle (eigene Darstellung)	57
Abbildung 35: Ritzelwelle+ Abtriebswelle (eigene Darstellung)	58
Abbildung 36: Abstandsring (eigene Darstellung)	58
Abbildung 37: Baugruppe „Getriebe_gesamt“ (eigene Darstellung)	59
Abbildung 38: Getriebe Normteile (eigene Darstellung)	60
Abbildung 39: Passfederverbindung von Abtriebswelle und Zahnrad (eigene Darstellung)	60
Abbildung 40: Passfederverbindung von Abtriebswelle und Zahnrad (eigene Darstellung)	60
Abbildung 41: Bodenplatte (eigene Darstellung)	61
Abbildung 42: Seitenwand (Hälfte) (eigene Darstellung)	61
Abbildung 43: Seitenwand (unbearbeitet) (eigene Darstellung)	62
Abbildung 44: Lagerblock (eigene Darstellung)	62
Abbildung 45: Seitenwand (bearbeitet) (eigene Darstellung)	63
Abbildung 46: Flansch (kurz) (eigene Darstellung)	63
Abbildung 47: Flansch (lang) (eigene Darstellung)	64
Abbildung 48: Stütze (eigene Darstellung)	64
Abbildung 49: Auflage (eigene Darstellung)	64
Abbildung 50: Unterteil (eigene Darstellung)	65
Abbildung 51: Deckel (eigene Darstellung)	66
Abbildung 52: Oberteil (eigene Darstellung)	66
Abbildung 53: AW-Lagerdeckel (eigene Darstellung)	67
Abbildung 54: AW-Lagerdeckel (mit Bohrung) (eigene Darstellung)	67
Abbildung 55: RW-Lagerdeckel (eigene Darstellung)	67
Abbildung 56: RW-Lagerdeckel (mit Bohrung) (eigene Darstellung)	68
Abbildung 57: Oberteil + Unterteil (eigene Darstellung)	68
Abbildung 58: Gehäuse Normteile_1 (eigene Darstellung)	70
Abbildung 59: Gehäuse Normteile_3 (eigene Darstellung)	70
Abbildung 60: Gehäuse Normteile_2 (eigene Darstellung)	70
Abbildung 61: Gliederung der Konstruktion (ohne Normteile) (eigene Darstellung)	71

Abbildung 62: Berechnung: Wellendurchmesser (eigene Darstellung).....	72
Abbildung 63: Berechnung: Passfeder (eigene Darstellung)	73
Abbildung 64: Berechnung: Sicherungsring-Einbaumaße (eigene Darstellung).....	73
Abbildung 65: Berechnung: O-Ring-Einbaumaße (eigene Darstellung)	74
Abbildung 66: Berechnung: Dichtungsring-Einbaumaße (eigene Darstellung).....	74
Abbildung 67: PLM-Riesenrad.....	77
Abbildung 68: ANSYS Workbench 2024 R2 (eigene Darstellung)	80
Abbildung 69: Tetraeder (Serlo, 2025).....	81
Abbildung 70: Hexaeder (matteboken, 2025)	81
Abbildung 71: Bedingung der festen Einspannung (eigene Darstellung).....	83
Abbildung 72: Kraftkomponenten (eigene Darstellung)	83
Abbildung 73: Nachrechnung des Rundstabs in Excel (eigene Darstellung)	83
Abbildung 74: Flächen löschen (eigene Darstellung)	84
Abbildung 75: Ebenen für die Lagerstellen (zum Trennen) (eigene Darstellung).....	84
Abbildung 76: Teilkreis trennen (eigene Darstellung)	84
Abbildung 77: txt-Datei Balkenmodell (eigene Darstellung).....	85
Abbildung 78: Kreisbogen-Skizze (eigene Darstellung).....	85
Abbildung 79: Element-Size der Stirnradstufe ANSYS (eigene Darstellung)	86
Abbildung 80: Elementgröße NASTRAN (eigene Darstellung)	86
Abbildung 81: Elementgröße Inventor-Bauteilanalyse (eigene Darstellung).....	87
Abbildung 82: Remote Displacement (eigene Darstellung)	87
Abbildung 83: Bedingungen des Festlagers (eigene Darstellung)	87
Abbildung 84: Festlager Balkenmodell (eigene Darstellung)	88
Abbildung 85: PIN-Abhängigkeit NASTRAN (eigene Darstellung).....	88
Abbildung 86: PIN-Abhängigkeit Inventor-Bauteilanalyse (eigene Darstellung)	88
Abbildung 87: PIN-Abhängigkeit Festlager NASTRAN/ähnlich und simpler in Inventor-Bauteilanalyse (eigene Darstellung).....	88
Abbildung 88: Bedingungen des Loslagers (eigene Darstellung)	89
Abbildung 89: Loslager Balkenmodell (eigene Darstellung)	89
Abbildung 90: Remote-Displacement zum Sperren der Achse (eigene Darstellung)	90
Abbildung 91: Force einfügen ANSYS (eigene Darstellung).....	90
Abbildung 92: Zahnkraftkomponenten ANSYS (eigene Darstellung).....	90
Abbildung 93: Kraft auf Teilkreis (eigene Darstellung)	90
Abbildung 94: Kraft auf Wellenachse (eigene Darstellung).....	91
Abbildung 95: Zahnkraft Inventor-Bauteilanalyse (eigene Darstellung)	91
Abbildung 96: Zahnkraft NASTRAN (eigene Darstellung)	91
Abbildung 97: Moment am Wellenabsatz ANSYS (eigene Darstellung)	92
Abbildung 98: Moment an der Ritzelwelle ANSYS (eigene Darstellung)	92
Abbildung 99: Moment am Balkenmodell (eigene Darstellung)	92
Abbildung 100: Connection Bedingung ANSYS (eigene Darstellung)	93
Abbildung 101: Contact Ritzelwelle ANSYS (eigene Darstellung)	93
Abbildung 102: Contact Abtriebswelle ANSYS (eigene Darstellung)	93
Abbildung 103: Total-Deformation Ritzelwelle (eigene Darstellung)	94

Abbildung 104: Total-Deformation Abtriebswelle (eigene Darstellung)	95
Abbildung 105: Zeitdokumentation Huber 1 (eigene Darstellung)	101
Abbildung 106: Zeitdokumentation Huber 2 (eigene Darstellung)	102
Abbildung 107: Zeitdokumentation Hackl (eigene Darstellung)	103
Abbildung 108: Zeitdokumentation Gutmann (eigene Darstellung)	104
Abbildung 109: Zeitdokumentation Pabisch 1 (eigene Darstellung)	105
Abbildung 110: Zeitdokumentation Pabisch 2 (eigene Darstellung).....	106

7 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kurzbeschreibung (eigene Darstellung)	V
Tabelle 2: Abstract (eigene Darstellung)	VI
Tabelle 3: Übersicht Welle-Nabe-Verbindung (Wittel, Jannasch, Voßiek, & Spura, 2019, S. 420)	15
Tabelle 4: Methoden der Passfederberechnung (eigene Darstellung)	19
Tabelle 5: PLM Art (eigene Darstellung)	76
Tabelle 6: Auflagerkräfte der Ritzelwelle (eigene Darstellung).....	94
Tabelle 7: Auflagerkräfte der Abtriebswelle (eigene Darstellung).....	94
Tabelle 8: Spannungen der Ritzelwelle (eigene Darstellung)	94
Tabelle 9: Spannungen der Abtriebswelle (eigene Darstellung).....	94
Tabelle 10: Verformungen der Ritzelwelle (eigene Darstellung)	94
Tabelle 11: Verformungen der Abtriebswelle (eigene Darstellung).....	95

8 Literaturverzeichnis

ANSYS. (02. Oktober 2024). *Ansys Student - Free Software Download*. Von ANSYS: <https://www.ansys.com/academic/students/ansys-student> abgerufen

Autodesk. (17. Oktober 2024). *Inventor*. Von Autodesk: <https://www.autodesk.com/education/edu-software/overview?msockid=1443c5b5d8b163891894d0b3d9ac62ea#INVPROSA> abgerufen

Autodesk. (17. Oktober 2024). *Inventor Nastran*. Von Autodesk: <https://www.autodesk.com/education/edu-software/overview?msockid=1443c5b5d8b163891894d0b3d9ac62ea#NINCA> abgerufen

Autodesk. (3. Jänner 2025). *Vault-Projekte, Einzelbenutzerprojekte und ältere Projekte*. Von Autodesk Help: <https://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2024/DEU/?guid=GUID-FBA3E557-EB71-41DC-AB2F-8F794C1F2875> abgerufen

Clark, A. (2025, März 23). *Harnessing the Potential of Finite Element Analysis: Transforming Engineering Design and Testing*. Retrieved from rescale: <https://rescale.com/blog/harnessing-the-potential-of-finite-element-analysis-transforming-engineering-design-and-testing/>

Dach, T. (16. Oktober 2012). *PLM einfach erklärt: Das PLM Riesenrad -- Einleitung*. Von YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=fVarfGddM3Q> abgerufen

Decker, K.-H., & Kabus, K. (2014). *Maschinenelemente Funktion, Gestaltung und Berechnung* (19. Ausg.). München: Carl Hanser Verlag.

Decker, K.-H., & Kabus, K. (2014). *Maschinenelemente Tabellen und Diagramme* (19. Ausg.). München: Carl Hanser Verlag.

Dubbel. (1981). DUBBEL Taschenbuch für den Maschinenbau. In W. B.-H. Küttner, *Taschenbuch für den Maschinenbau* (S. 225). Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.

Eaton, J. (1. August 2024). *GNU Octave*. Von GNU Octave Download: <https://octave.org/download> abgerufen

KISSsoft®. (27. Juni 2024). *KISSsoft® Elemente*. Von KISSsoft®: <https://www.kisssoft.com/de/products/product-overview/kisssoft-elements> abgerufen

Küttner, W. B.-H. (1981). *Dubbel Taschenbuch für den Maschinenbau*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.

- matteboken. (22. März 2025). *Platonska kroppar (Hexaeder)*. Von matteboken En gratistjänst från Mattecentrum: <https://www.matteboken.se/lektioner/kul-med-matte/platonska-kroppar/hexaeder> abgerufen
- Mayer, T., & Damböck, W. (1. August 2024). *LeTTo-Server*. (LeTTo GmbH) Von LeTTo: <https://s2.letto.at/lettotest2/main.jsf> abgerufen
- MDESIGN. (27. Juni 2024). *Optimierung von Maschinenelementen Auslegung, Berechnung, Simulation*. Von MDESIGN: <https://www.mdesign.de/software/loesungen/auslegung-berechnung-simulation/optimierung-von-maschinenelementen/> abgerufen
- Niemann, G., & Winter, H. (2003). *Maschinenelemente Band 2: Getriebe allgemein, Zahnradgetriebe - Grundlagen, Stirnradgetriebe* (2. Ausg., Bd. 2). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Niemann, G., Winter, H., & Höhn, B.-R. (2005). *Maschinenelemente Band 1: Konstruktion und Berechnung von Verbindungen, Lagern, Wellen* (4. Ausg., Bd. 1). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- PLMWorks GmbH. (4. November 2024). *PDM PLM - Was ist der Unterschied?* Von Jeppa: <https://jeppa.com/de-de/ratgeber/pdm-plm-was-ist-der-unterschied-12-17> abgerufen
- Pokorny, J. (1986). *Köhler/Rögnitz Maschinenteile Teil 1* (7. Ausg., Bd. 1). Stuttgart: B.G. Teubner Stuttgart.
- Pokorny, J. (1986). *Köhler/Rögnitz Maschinenteile Teil 2* (7. Ausg., Bd. 2). Stuttgart: B.G. Teubner Stuttgart.
- Posch, R. (28. Juni 2024). Exkursion Firma Sallegger. (M. Hackl, J. Huber, S. Gutmann, F. W. Pabisch, & H. Lang, Interviewer) Jahnstraße 30b, 8280 Fürstenfeld, Steiermark, Österreich.
- Probst, A. (2019). *Neue Ansätze in der Ingenieurausbildung für Konstruktion und Produktentwicklung*. Neumarkt.
- PTC Inc. (3. April 2024). *mathcad*. Von ptc: <https://www.mathcad.com/en/try-and-buy/mathcad-express-free-download> abgerufen
- PTC Inc. (3. April 2024). *Mathcad Express – Kostenloser Download*. Von PTC mathcad®: <https://www.mathcad.com/de/try-and-buy/mathcad-express-free-download> abgerufen
- Serlo. (21. März 2025). *Wichtige Grundkörper (Tetraeder)*. Von Serlo Die freie Lernplattform: <https://de.serlo.org/mathe/36213/tetraeder> abgerufen
- SIMSCALE. (23. März 2025). *Remote Displacement*. Von SIMSCALE: <https://www.simscale.com/docs/simulation-setup/boundary-conditions/remote-displacement/> abgerufen

- StudySmarter. (22. März 2025). *LU-Zerlegung*. Von StudySmarter:
<https://www.studysmarter.de/studium/mathematik-studium/numerik/lu-zerlegung/#:~:text=LU-Zerlegung%20ist%20eine%20Methode%2C%20mit%20der%20eine%20Matrix,der%20LU-Zerlegung%20k%C3%B6nnen%20komplexe%20Gleichungssysteme%20effizienter%20gel%C3%B6st%20werden> abgerufen
- Wikipedia. (21. März 2025). *FINITE-Elemente-Methode*. Von Wikipedia:
<https://de.wikipedia.org/wiki/Finite-Elemente-Methode> abgerufen
- Wikipedia. (20. März 2025). *GMRES-Verfahren*. Von Wikipedia:
<https://de.wikipedia.org/wiki/GMRES-Verfahren> abgerufen
- Wittel, H., Jannasch, D., Voßiek, J., & Spura, C. (2019). *Roloff/Matek Maschinenelemente Normung Berechnung Gestaltung* (24. Ausg.). Berlin: Springer Vieweg.
- Wittel, H., Jannasch, D., Voßiek, J., & Spura, C. (2019). *Roloff/Matek Maschinenelemente Tabellenbuch* (24. Ausg.). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Zemsky, J. (4. November 2024). *PDM vs. PLM: Was ist der Unterschied?* Von ptc:
<https://www.ptc.com/de/blogs/plm/pdm-vs-plm> abgerufen