|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |  |
| Belegarbeit Mechanische Antriebe, WiSe 2018/2019 |
| **Auslegung und Optimierung des Stirnradgetriebes einesTurbopropellertriebwerks** |
|  |  |  |
| Kaiser, Franz; 1234567; MAB2015 |  |  |
| Nachname, Vorname; Matrikelnummer; Matrikel |  |  |
|  |  |  |
| **Däne, Mark; 2345678; MAB2016** |  |  |
| Nachname, Vorname; Matrikelnummer; Matrikel |  |  |
|  |  |  |
| **Schwarzer, Peter; 3456789; MAB2016** |  |  |
| Nachname, Vorname; Matrikelnummer; Matrikel |  |  |
|  |  |  |
| **Gruppe:** |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
| Abgabe am 11.02.2019 |  |  |

Inhaltsverzeichnis

0 Aufgabenstellung 1

0.1 Randbedingungen 2

0.2 Gegebene Größen 2

0.3 Arbeitspakete 4

0.4 Hinweise 5

0.5 Wochen- und Zeitplan 6

0.6 Gestaltung der Kapitel 7

1 Verzahnung Teil 1 8

1.1 Gliederungsebene 2, Überschrift 1 9

1.2 Gliederungsebene 2, Überschrift 2 9

2 Verzahnung Teil 2 10

2.1 Erste Dimensionierung: Geradverzahnung 10

2.2 Zweite Dimensionierung: Profilverschobene Geradverzahnung 10

2.3 Dritte Dimensionierung: Profilverschobene Schrägverzahnung 10

3 Verzahnung Teil 3 11

3.1 Gliederungsebene 2, Überschrift 1 11

3.2 Gliederungsebene 2, Überschrift 2 11

4 Iteration Gesamtgetriebe 12

4.1 Gliederungsebene 2, Überschrift 2 12

Anhang i

A. Gliederungsebene 1, Überschrift 1 i

B. Gliederungsebene 1, Überschrift 2 i

Symbol- und Indexverzeichnis ii

Abbildungsverzeichnis iii

Tabellenverzeichnis iv

Literaturverzeichnis v

# Aufgabenstellung

Die folgende Abbildung zeigt ein Turbopropellertriebwerk einer Passagiermaschine.

|  |
| --- |
| https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/14/YSpropeller_retusche.jpg |
| Abbildung 0.1: Turbopropellertriebwerk [Web01] |

Der auch Propellerturbinenluftstrahltriebwerk (PTL) genannte Antrieb besteht aus einer Gasturbine, einem untersetzenden Getriebe sowie dem Propeller, der ca. 90% des Gesamtschubes erzeugt.

Abbildung 0.2 zeigt das angesprochene Getriebe inkl. Turbinenwelle, Kupplung und dem Propeller als Abtrieb.

|  |
| --- |
|  |
| Abbildung 0.2: Getriebeentwurf, schematische Darstellung [Sch17] |

Legen Sie die Verzahnungen, Wellen und Lager unter Berücksichtigung der Gesamtmasse und der erforderlichen Sicherheiten aus!

Für den ersten Entwurf sind folgende technische Daten heranzuziehen:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Antriebsleistung | $$P$$ | $$=$$ | $$700$$ | $$kW$$ |
| Antriebsdrehzahl | $$n\_{an}$$ | $$=$$ | $$5.000$$ | $$min^{-1}$$ |
| Abtriebsdrehzahl | $$n\_{ab}$$ | $$=$$ | $$154$$ | $$min^{-1}$$ |

## Randbedingungen

Folgende Randbedingungen sind bei der konstruktiven Gestaltung zu beachten:

* Leichte und kompakte Bauweise der Getriebeeinheit.
* Gleichbleibende Drehrichtung des Antriebsstrangs.
* Für die Einzelübersetzungen soll gelten: $i\_{1}>i\_{2}>i\_{3}$
* Gesamtübersetzungsfehler < 1 %
* Bis auf die Abtriebswelle sind alle Wellen als Ritzelwellen auszuführen.
* Dauerfeste Auslegung

## Gegebene Größen

Neben den obigen Daten sind die folgenden weiteren Größen gegeben:

**Leistungsdaten**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Anwendungsfaktor | $$K\_{A}$$ | $$=$$ | $$1,4$$ |  |
| Wirkungsgrad je Zahneingriff | $$η\_{Z}$$ | $$=$$ | $$0,97$$ |  |
| Wirkungsgrad je Wellenlagerung | $$η\_{L}$$ | $$=$$ | $$0,99$$ |  |
| Wirkungsgrad je Wellendichtung | $$η\_{D}$$ | $$=$$ | $$0,98$$ |  |

**Werkstoffe**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Wellen |  |  | 42CrMo4 | (vergütet) |
| Zahnräder |  |  | 34CrMo4 | (vergütet u.nitriert) |
| Verzahnungsqualität |  |  | IT6 |  |

**Sicherheiten**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Verzahnung: Sicherheit gegen Grübchenbildung | $$S\_{H}$$ | $$=$$ | $$1,25$$ |  |
| Verzahnung: Sicherheit gegen Zahnfussbruch | $$S\_{F}$$ | $$=$$ | $$1,7$$ |  |
| Welle: Sicherheit gegen Gewaltbruch | $$S\_{F}$$ | $$=$$ | $$1,2$$ |  |
| Welle: Sicherheit gegen Dauerbruch | $$S\_{D}$$ | $$=$$ | $$1,2$$ |  |
| Wälzlager: erforderliche Lebensdauer | $$L\_{10herf}$$ | $$=$$ | $$7.000$$ | $$h$$ |

Nicht gegebene Werte sind der Literatur (Schlecht, DIN 743 etc.) zu entnehmen bzw. im Kontext der Aufgabenstellung sinnvoll festzulegen. Die von Ihnen definierten Werte sind in den Ausführungen/Berechnungen hervorzuheben und deren Anpassung/Entwicklung ist im Rahmen des Optimierungsprozesses darzustellen.

## Arbeitspakete

1. **Verzahnung Teil I**

Legen Sie die drei Getriebestufen zunächst als *geradverzahnte, nicht profilverschobene* Verzahnungen aus.

Optimieren Sie dabei das Getriebe hinsichtlich der Gesamtmasse der Zahnräder und des notwendigen Bauraums (maßgebend ist Achsabstand zwischen An –und Abtriebswelle bzw. zwischen Turbine und Propeller) unter Berücksichtigung von Fuß- und Flankenfestigkeit. Dokumentieren Sie dabei die durchgeführten Iterationsschritte.

Geben Sie nach endgültiger Festlegung tabellarisch alle relevanten Geometrie- und Kraftgrößen der Verzahnungen an und diskutieren Sie die Stellschrauben der Dimensionierung sowie die auftretenden Zielkonflikte.

*Zusatzaufgabe:*Schreiben Sie einen Algorithmus (in MathCAD, Matlab oder Mathematica) zur Ermittlung der optimalen Aufteilung der Übersetzungsverhältnisse und Wahl der Zähnezahlen. Dabei sollen Bauraum und Festigkeiten (Fuß bzw. Flanke) als maßgebende Randbedingungen berücksichtigt werden.

1. **Verzahnung Teil II**

Erläutern Sie die Möglichkeiten und Grenzen einer Profilverschiebung. Welchen Einfluss besitzt eine Profilverschiebung grundsätzlich auf eine Verzahnung?

Prüfen Sie anschließend, inwieweit sich das Getriebe unter Verwendung von *profilverschobenen* Verzahnungen hinsichtlich Masse, Bauraum und Lebensdauer (bzw. Sicherheitswerten) weiter optimieren lässt.

Stellen Sie die profilverschobene der nicht-profilverschobenen Verzahnung tabellarisch gegenüber.

*Zusatzaufgabe:*Erweitern Sie Ihren Algorithmus, so dass auch profilverschobene Verzahnungen optimiert werden können.

1. **Verzahnung Teil III**

Die finale Auslegung soll nun als *schrägverzahnte* *und profilverschobene* Verzahnung erfolgen.

Prüfen Sie also, inwieweit sich das Getriebe unter Verwendung von Schrägungswinkel und Profilverschiebung hinsichtlich Masse, Bauraum und Lebensdauer (bzw. Sicherheitswerten) abschließend optimieren lässt. Stellen Sie alle drei Getriebevarianten tabellarisch gegenüber.

*Zusatzaufgabe:*Erweitern Sie Ihren Algorithmus, so dass auch schrägverzahnte Verzahnungen optimiert werden können.

1. **Iteration Gesamtgetriebe**

Überarbeiten Sie das Ergebnis der Belegbearbeitung des vergangenen Semesters (Maschinenelemente 2) unter Berücksichtigung Ihrer optimierten Verzahnungsgeometrien.

Aktualisieren Sie die 3D-Geometrie und gestalten Sie ein Getriebegehäuse.

Leiten Sie die Technische Zeichnung einer Ritzelwelle sowie eines Zahnrads Ihrer Wahl ab.

## Hinweise

**Gruppenarbeit**

* Die Studierenden schließen sich zu Gruppen mit je 3 bis 4 Mitgliedern zusammen und teilen mir dies per Mail mit (unter Angabe von: Name, Matrikel, Matrikelnummer und möglichen Zeitfenstern hinsichtlich Verteidigungsterminen).
* Ihnen wird dann eine entsprechende Gruppennummer zugewiesen.

**Software**

* Die Erstellung der Dokumentation erfolgt auf Basis dieser Formatvorlage (Word), deren Gliederung beizubehalten ist.
* Die Software zur Erstellung der Berechnungsdokumentation ist Mathcad. Darüber hinaus kann auch Mathematica verwendet werden.
* Die Software zur 3D-Modellierung und zur Erstellung der 2D-Zeichnungen ist CATIA V5.
* Sowohl Berechnungen als auch technische Zeichnungen sind dem Beleg im Anhang beizufügen.

**Abgabe und Bewertung, Klausuren**

* Die Abgabe des Beleges erfolgt in gebundener Form. Darüber hinaus sind alle relevanten CAD-, Mathcad-, Mathematica- sowie doc/pdf-Files auf einer beschrifteten CD-ROM beizufügen.
* Wird der Abgabetermin (11.02.2019) nicht eingehalten, so verschlechtert sich der Bewertungsgrad der Note wöchentlich um 0.3 bzw. 0.4.
* Wie im Zeitplan definiert (vgl. Tabelle 0.1), erfolgt eine Zwischenbewertung der Arbeitspakete auf Basis Ihrer Ausarbeitungen. Zu den entsprechenden Terminen präsentieren Sie Ihre Ergebnisse in Form eines 10 minütigen Vortrages (PowerPoint-Präsentation).
* Zur Bewertung senden mir alle Gruppen (!) Ihre Ausarbeitungen (Berechnungen und Präsentation) am Freitag vor den Verteidigungen der A-Gruppen bis 20 Uhr. Angaben zur Mail:
	+ Betreff: Beleg MA, <Gruppennummer>, <Nr. des Arbeitspaketes>
	+ Format: je ein pdf-File für Berechnung und Präsentation, Dateiname:

<Gruppennummer>\_<NummerAP>\_<Inhalt>.pdf
(für <Inhalt> entweder „Berechnung“ oder „Präsentation“ einsetzen)

<Gruppennummer>\_<NummerAP>\_CAD.rar (CAD-Daten passwortfrei gepackt)

* Die Bewertung der Arbeitspakete mit folgender Gewichtung ergibt Ihre Belegnote für Mechanische Antriebe:

*AP1 bis AP3 jeweils 30%, AP4 10%*

Der so entstehende Mittelwert fließt zu 40% in Ihre Modulnote Mechanische Antriebe ein. Der Gesamtbeleg kann jedoch noch einen negativen Einfluss von bis zu einem Notengrad haben, sofern gravierende Mängel vorliegen.

* Ihnen ist die Teilnahme an der Klausur Mechanische Antriebe nur gestattet, wenn Sie
	+ den Beleg mindestens mit der Note 4,0 abgeschlossen und
	+ die Module Werkstofftechnik, Technische Mechanik und Mathematik 2 bestanden haben.

**Konsultationen und Anmerkungen**

* Konsultationen finden in den regulären Übungen Mechanische Antriebe (montags 1.UE) statt.
* Zusätzliche Konsultationen erfolgen nur nach vorheriger Absprache.
* Anregungen und Kritik zu dieser Formatvorlage werden gern entgegengenommen und sind per Mail zu senden an stephan.voigt@hs-anhalt.de.

## Wochen- und Zeitplan

|  |
| --- |
| Tabelle 0.1: Zeitplan zur Belegbearbeitung |
|  |

## Gestaltung der Kapitel

Inhalte der einzelnen Kapitel sollen sein:

* Kurze Erläuterung der grundlegenden Vorgehensweise
* Aussagekräftige Skizzen und Darstellungen hinsichtlich der Gestaltung der Konstruktionselemente
* Darlegung einiger Berechnungsschritte (Meilensteine), jedoch nicht der vollständigen Berechnungsgang (dieser ist dem Anhang beizufügen)
* Tabellen und Diagramme
* Interpretation von Ergebnissen, Ableitung von Handlungsempfehlungen
* Erläuterung der durchgeführten Iterationen (auch kapitelübergreifend) und Hervorheben von Stellschrauben
* Erläuterung zum Optimierungsprozess (auch kapitelübergreifend)

Der Fließtextanteil sollte stark begrenzt sein. Sämtliche Berechnungen (Mathcad, Mathematica) sind dem Anhang beizufügen.

# Verzahnung Teil 1

*Abbildungsmaster*

|  |
| --- |
|  |
| Abbildung 1.1: Paarung zweier außenverzahnter Nullräder [WMJV13] |

Sie können die hier aufgeführte rahmenlose Tabelle samt Abbildung und Beschriftung kopieren und an eine neue Stelle einfügen. Anschließend ersetzen Sie die alte Abbildung durch eine neue. Die Beschriftung der Abbildung wird dann sowohl direkt als auch im Abbildungsverzeichnis aktualisiert (RMT, *Felder aktualisieren*).

## Gliederungsebene 2, Überschrift 1

Überschriften der verschiedenen Gliederungsebenen können Sie ebenfalls über *copy & paste* an die entsprechenden Stellen einfügen. Alternativ dazu können Sie die Formatvorlagen oder die Funktion „Format übertragen“ verwenden.

## Gliederungsebene 2, Überschrift 2

Text / Abbildungen / Tabellen

# Verzahnung Teil 2

Text / Abbildungen / Tabellen

## Erste Dimensionierung: Geradverzahnung

Text / Abbildungen / Tabellen

## Zweite Dimensionierung: Profilverschobene Geradverzahnung

Text / Abbildungen / Tabellen

## Dritte Dimensionierung: Profilverschobene Schrägverzahnung

Text / Abbildungen / Tabellen

# Verzahnung Teil 3

Text / Abbildungen / Tabellen

## Gliederungsebene 2, Überschrift 1

*Tabellenmaster*

|  |
| --- |
| Tabelle 3.1: Kenngrößen Festkörperlaser [Gru08] |
|  |

Sie können die hier aufgeführte rahmenlose Tabelle samt Inhalt und Beschriftung kopieren und an eine neue Stelle einfügen. Anschließend ersetzen Sie die alte Tabelle durch eine neue. Die Beschriftung der Tabelle wird dann sowohl direkt als auch im Tabellenverzeichnis aktualisiert (RMT, *Felder aktualisieren*).

## Gliederungsebene 2, Überschrift 2

*Formel-/Gleichungsmaster*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | $$F\_{r}=\frac{F\_{t}⋅\tan(α\_{n})}{\cos(β)}$$ | Gl. 3.1 |

Sie können die aufgeführte rahmenlose Tabelle samt Formel/Gleichung und Beschriftung kopieren und an eine neue Stelle einfügen. Anschließend können Sie die Formel bearbeiten und die Beschriftung aktualisieren (RMT, *Felder aktualisieren*).

# Iteration Gesamtgetriebe

Text / Abbildungen / Tabellen

## Gliederungsebene 2, Überschrift 2

Text / Abbildungen / Tabellen

#

Anhang

1. Gliederungsebene 1, Überschrift 1

Weitere Gliederungsebenen sind im Anhang nicht vorgesehen.

1. Gliederungsebene 1, Überschrift 2

Text / Abbildungen / Tabellen

Symbol- und Indexverzeichnis

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Symbol | Einheit | Bezeichnung |
| $$F\_{r}$$ | $$N$$ | Radialkraft |
| $$F\_{t}$$ | $$N$$ | Tangentialkraft |
| $$α\_{n}$$ | $°$, $rad$ | Normaleingriffswinkel |
| $$β$$ | $°$, $rad$ | Schrägungswinkel |
| … | … | … |

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 0.1: Turbopropellertriebwerk [Web01] 1

Abbildung 0.2: Getriebeentwurf, schematische Darstellung [Sch17] 1

Abbildung 1.1: Paarung zweier außenverzahnter Nullräder [WMJV13] 8

Tabellenverzeichnis

Tabelle 0.1: Zeitplan zur Belegbearbeitung 6

Tabelle 3.1: Kenngrößen Festkörperlaser [Gru08] 11

Literaturverzeichnis

|  |  |
| --- | --- |
| [Gru08] | Gruss, H.Schweißgerechte Struktur- und Prozessstrategien im FlugzeugbauDissertation, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 2008 |
| [Sch17] | Schulz, C.Beleg Computer Aided Engineering, WS17/18Belegaufgabe, Hochschule Anhalt, Köthen, 2017 |
| [Web01] | Abbildung<https://de.wikipedia.org/wiki/Turboprop#/media/File:YSpropeller_retusche.jpg>Abfragedatum: 06.10.2017 |
| [WMJV13] | Wittel, H., Muhs, D., Jannasch, D., Voßiek, J.Roloff/Matek MaschinenelementeSpringer Vieweg, 21. Auflage, Wiesbaden, 2013 |