|  |
| --- |
| Vector-Based 2D Tolerance Analysis and Machine Learning Optimization for Key Characteristic Identification  (maximal 4 Zeilen) |
| Diplomarbeit/Studienarbeit/Bachelorarbeit/Projektarbeit/Masterarbeit  von  Nihar Patel |



P L A T Z H A L T E R  
Diese Seite wird durch das unterzeichnete Exemplar ersetzt.

Vorlage siehe Vorlage Aufgabenstellung.dot

**Erklärung  
Prüfungsleistung**

1. Ich versichere, dass ich die als Prüfungsleistung zu erbringende Arbeit ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen angefertigt habe und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat und von dieser als Teil einer Prüfungsleistung angenommen wurde. Alle Ausführungen, die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden, sind als solche gekennzeichnet.

2. Mir ist ferner bekannt, dass die Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg aufgrund der prüfungsrechtlichen Vorschriften einen Anspruch auf das Original der Arbeit hat. Dieser Anspruch bezieht sich jedoch nur auf das körperliche Eigentum an der Arbeit als solches und auf deren Verwendung zu den in der Prüfungsordnung festgelegten Zwecken.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| Ort, Datum |  | Vorname, Nachname |

**Erklärung  
Nutzungsrecht und Geheimhaltung**

In Ergänzung zu anderen Erklärungen im Rahmen der Arbeit erkläre ich Folgendes:

Es entspricht meinem ausdrücklichen Wunsch, dass ich vom Lehrstuhl für Konstruktionstechnik (im Folgenden Universität genannt) die als Prüfungsleistung zu erbringende Arbeit zur Bearbeitung erhalte, für die die nachfolgenden Bedingungen gelten. Ich wurde darauf hingewiesen, dass ich auch ein anderes Thema hätte erhalten können, für das diese Bedingungen nicht gelten würden. Ich erkläre mich mit folgenden Punkten einverstanden:

1. Ich räume der Universität für Zwecke der Forschung und Lehre ein einfaches, kostenloses, zeitlich und örtlich unbeschränktes Nutzungsrecht an den Arbeitsergebnissen einschließlich etwaiger Schutzrechte und Urheberrechte ein. Das Nutzungsrecht der Universität umfasst die Befugnis zur Weitergabe der Arbeit an Dritte zur Nutzung in Forschung und Lehre.

Diese Seite ist nur in bestimmten Fällen in die Arbeit aufzunehmen und zu unterzeichnen!

2. Wegen des Praxisbezugs meiner Arbeit werde ich Informationen erhalten und Einblick in Unterlagen nehmen, die vertraulich zu behandeln sind. Da die Ergebnisse meiner Arbeit auf den vorgenannten Informationen bzw. Unterlagen beruhen werden, werde ich meine Arbeit nur mit Zustimmung des betreuenden Hochschullehrers Dritten zugänglich machen bzw. veröffentlichen.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| Ort, Datum |  | Vorname, Nachname |

###### Inhaltsverzeichnis

[1 Preliminary Work 1](#_Toc197594750)

[2 Formatvorlagen 3](#_Toc197594751)

[2.1 Überschriften 3](#_Toc197594752)

[2.2 Formatvorlage Fließtext „Standard“ 3](#_Toc197594753)

[2.3 Personen und Eigennamen 3](#_Toc197594754)

[2.4 Formatvorlage Tabelle 3](#_Toc197594755)

[2.5 Formatvorlage Bild 4](#_Toc197594756)

[2.6 Formatvorlage Formel 6](#_Toc197594757)

[2.7 Querverweise 8](#_Toc197594758)

[2.8 Farben 9](#_Toc197594759)

[3 Rechtschreibung und Silbentrennung 10](#_Toc197594760)

[4 Literaturverzeichnis 11](#_Toc197594761)

###### Formeln, Indizes, Abkürzungen

Formeln

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| a | mm | Längenangabe |
| A**x/y/z** | N | Lagerreaktionskräfte |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| α | % | Risiko eines Fehlers 1. Art |
| β | % | Risiko eines Fehlers 2. Art |

Indizes

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1, 2, 3, … |  | Zählindex |
| A, B, C, … |  | Lagerstellen |

Abkürzungen

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| CAD |  | Computer Aided Design |
| CAE |  | Computer Aided Engineering |
| PDM |  | Produktdatenmanagement |

Aufgeführt werden die im Text, in Gleichungen und in Bildern eingesetzten Formelzeichen, Indizes und Abkürzungen. Die Buchstaben sind alphabetisch geordnet und es werden Kleinbuchstaben vor Großbuchstaben aufgeführt. Alle Formelzeichen sind – auch wenn einige Zeichen mehrfach verwendet wurden – im späteren Kontext eindeutig zuzuordnen.

# Preliminary Work

The development of this thesis is grounded in foundational work across the domains of tolerance analysis, geometric modeling, and statistical simulation. Initially, a thorough literature review was conducted to understand the current approaches in dimensional tolerance analysis, with a specific focus on vector-based methods in two-dimensional systems.

To facilitate practical implementation, the Python programming language was selected as the development environment due to its strong libraries for mathematical modeling, data handling, and visualization. Prior to starting the actual model, a simplified test case was created to evaluate vector-based geometric relations and understand the propagation of variation across different tolerance chains.

Following this, a Monte Carlo simulation environment was designed to explore the impact of input tolerances on final assembly gaps. This formed the basis for identifying Key Characteristics (KCs) that significantly influence dimensional quality. To enhance this analysis, early experiments with regression-based Machine Learning algorithms were conducted to predict influential input features and assess the minimum number of measurements required for reliable distribution analysis.

Additionally, initial testing was carried out on CAD-derived data representing tailgate-window geometries. These trials helped validate the implementation of point-to-point measurement and established a workflow for extracting meaningful statistical descriptors from the simulated gap distributions.

This groundwork laid the foundation for the main contributions of the thesis, which combine engineering knowledge with data-driven optimization strategies to improve the efficiency and accuracy of tolerance analysis in manufacturing contexts.

Formatvorlage zur Arbeit wird als Dokumentvorlage für Microsoft® Office Word abgelegt. Das bedeutet in Version 2007/2010 im Ordner: C:\Users\\*BENUTZER\*\AppData\Roaming\Microsoft\Templates.

Das Dokument ist durch Abschnittswechsel gegliedert! Diese Abschnittswechsel dürfen nicht gelöscht werden, da andernfalls Nummerierungen und Formatierungen ungültig werden.

Für eine saubere Nummerierung und zur Vereinfachung des Ablaufs wird das Makro Nummerierung.dotm zur Verfügung gestellt. Dieses muss dazu im Verzeichnis C:\Users\\*BENUTER\*\AppData\Roaming\Microsoft\Word\STARTUP abgelegt sein. Aufgerufen wird es dann über die gelbe Schaltfläche oben links, rechts neben dem Word Button.

Das Makro stellt 3 Funktionen bereit:

* Ist ein Bild ausgewählt, dann steht die Auswahl automatisch auf "Bild" und der Cursor ist im Textfeld. Die Beschriftung eingeben und Enter drücken, die Beschriftung wird dann unter dem Bild eingefügt
* Der Cursor ist in einer Tabelle platziert, dann steht die Auswahl automatisch auf "Tabelle" und der Cursor im Textfeld. Beschriftung eingeben und Enter drücken, dann wird sie über der Tabelle eingefügt
* Der Cursor ist in einer leeren Zeile, dann schlägt das Makro vor eine Formel einzufügen, mit Enter bestätigen und MathType öffnet sich. Wenn MathType nicht installiert ist, sollte der Haken nicht gesetzt sein und eine Word-Formel eingefügt werden.
* Der Cursor steht direkt hinter oder in einer (bitte nicht direkt hinter dem Formelobjekt!) Formeltabelle. In diesem Fall wird direkt eine weitere Formel an die vorherige Tabelle angehängt (z. B. bei Herleitungen).

Einige globale Einstellungen können durch die Wahl eines Designs (Schriftart und Farben) definiert werden. Dazu ist unter  
C:\Users\\*BENUTZER\*\AppData\Roaming\Microsoft\Templates\Document Themes  
die Datei KTmfk.thmx abzulegen und anschließend mittels Seitenlayout → Designs anzuwenden.

# Formatvorlagen

Diese Vorlage für Microsoft® Office Word kann zur Dokumentation studentischer Arbeiten unmittelbar verwendet werden. Die hier definierten Formatvorlagen sind unverändert zu verwenden. Als Formatvorlagen sind definiert:

## Überschriften

Für Überschriften sind 4 Gliederungsebenen vorgesehen (1 bis 1.1.1.1).

Sollte dies in seltenen Fällen nicht ausreichen, kann eine Zwischenüberschrift als „Intensive Hervorhebung“ eingefügt werden:

## Formatvorlage Fließtext „Standard“

Die zu verwendende Schriftart ist Arial, die Schriftgröße beträgt 12 Pt, der Zeilenabstand mindestens 16 Pt, Abstand nach Absatz 8 Pt.

Im Fließtext sind auch Formelzeichen in der Schriftart Arial zu setzen, der Zeilenabstand ist bei Verwendung einer Mathtype „Inline Formel“ auf genau 16 Pt manuell zu ändern, siehe auch Abschnitt 2.6.

Als Zeilenausrichtung wird Blocksatz gewünscht, in Ausnahmefällen ist linksbündige Absatzausrichtung zulässig.

## Personen und Eigennamen

Personennamen sind in Kapitälchen („Eigenname“) zu setzen. Eigen- und Handelsnamen, etwa Firmen oder Produktbezeichnungen, sind wie eingebürgert zu schreiben, meist in Großbuchstaben (z. B. BMW AG, SIEMENS AG).

## Formatvorlage Tabelle

Es sind zwei Typen von Tabellen zulässig: Tabellen mit nur waagerechten Trennlinien in Kopf und Fuß für übersichtliche Zusammenhänge (Format Standardtabelle) und Tabellen mit Rändern an jeder Zelle für beispielsweise Werkstofftabellen (Format Tabellengitternetz). Nach einer Tabelle folgt eine Leerzeile mit der Formatierung „Tabelle“.

Die Tabellenüberschrift wird über das Makro Nummerierung erzeugt. Dazu wird der Cursor in der Zeile über der Tabelle positioniert und das Makro ausgeführt.

Tabelle **Error! Use the Home tab to apply Überschrift 1 to the text that you want to appear here.**.1: Beispieltabelle 1

|  |  |
| --- | --- |
| Vorteile | Nachteile |
|  |  |
|  |  |

Tabelle **Error! Use the Home tab to apply Überschrift 1 to the text that you want to appear here.**.2: Beispieltabelle 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Art des Formschlusses** | **Bezeichnung und Skizze** | | **Axial verschiebbar unter Last** | **Durchmesserbereich in mm** |
| **Unmittelbar** | Keilwelle |  | Gut | 14-125 |
| Kerbzahnwelle |  | bedingt | 8-125 |
| Evolventen-profilwelle |  | gut | 6-500 |

## Formatvorlage Bild

Jedes Bild wird zentriert angeordnet (Formatvorlage Bild) und durch eine Beschriftung „Bild x.x:“ linksbündig unterhalb erläutert (Formatvorlage Bildbeschriftung). Die Bildbeschriftung wird ebenfalls über das Makro eingefügt! Auf jedes Bild muss im Text mindestens einmal verwiesen werden. Der Verweis erfolgt durch „Querverweis einfügen“ -> „Bild“ (Verweisen auf „Nur Kategorie und Nummer“) -> Bild auswählen (z. B. Bild **Error! Use the Home tab to apply Überschrift 1 to the text that you want to appear here.**.1).

Die Bildbeschriftung hat ggf. einen Verweis auf die Quelle zu enthalten. Dieser wird als Bezug auf das Literaturverzeichnis eingefügt durch: „Querverweis einfügen“ -> „Textmarke“ und „Absatznummer“ -> Textmarke auswählen. Wird ein Bild vollständig aus fremder Quelle übernommen so wird dies durch direkten Anschluss des Verweises verdeutlicht (siehe Bild **Error! Use the Home tab to apply Überschrift 1 to the text that you want to appear here.**.1), wird das Bild hingegen abgezeichnet so erfolgt die Bezeichnung mit „nach [Quelle]“.

Die Bilder sind direkt in der Word Datei abzulegen und nicht zu verknüpfen! Dazu beim Einfügen von selbst erstellten Zeichnungen aus Microsoft® Office Powerpoint beachten: Einfügen über „Inhalte einfügen“ (Strg+Alt+V) → “Bild (erweiterte Metadatei)“ oder durch vorheriges Abspeichern „Als Bild speichern“ (emf) und anschließendes Einfügen. Zusätzlich sind alle Bilder als Originaldatei in einem zur Arbeit gehörigen Unterordner abzulegen (d. h. auch alle ppt-Folien).



Bild **Error! Use the Home tab to apply Überschrift 1 to the text that you want to appear here.**.1: Tanzende Pinguine am Strand; die Bildunterschrift sollte so ausführlich sein, dass das der Inhalt des Bildes ohne Zuhilfenahme des umgebenden Textes verstanden werden kann [1]

In Fotos, Grafiken und Diagrammen ist die Schriftart Arial in Schriftgröße 10 pt zu verwenden. In Ausnahmefällen kann hiervon abgewichen werden. In Technischen Zeichnungen ist die Normschrift nach DIN EN ISO 3098 zu verwenden. Für die Beschriftung von Diagrammen gilt DIN 461.

Diagramme

Die Achsen von Diagrammen sind mit Formelzeichen und Einheit zu beschriften. Es sind Pfeile in positiver Achsenrichtung anzutragen (siehe Beispielsweise Bild **Error! Use the Home tab to apply Überschrift 1 to the text that you want to appear here.**.2). Anstelle des Verweises auf die Einheit durch z. B. „in Hz“ kann auch anstelle des vorletzten Achsenwertes (hier bei 8 000 Hz) die Einheit geschrieben werden. Die Schriftgröße der Achsen sollte nach Möglichkeit der Schriftgröße der Bildbeschriftung (oder der des Fließtextes) entsprechen.



Bild **Error! Use the Home tab to apply Überschrift 1 to the text that you want to appear here.**.2: Diagramm in kartesischen Koordinaten

Zur Verdeutlichung logarithmisch skalierter Achsen sind bei diesen Gitter- und Hilfslinien zwingend anzutragen (siehe Bild **Error! Use the Home tab to apply Überschrift 1 to the text that you want to appear here.**.3). Bei linear skalierten Achsen können Gitter- und Hilfslinien zu einer besseren Lesbarkeit beitragen und ggf. ebenfalls verwendet werden.



Bild **Error! Use the Home tab to apply Überschrift 1 to the text that you want to appear here.**.3: Diagramm mit logarithmisch skalierter x-Achse

## Formatvorlage Formel

Formeln werden über das Makro eingefügt. Die Formel ist dann zentriert und mit Nummerierung rechts dargestellt. Als Editor kommt nach Möglichkeit MathType zum Einsatz. Die Formel wird automatisch als Inline-Formel erzeugt.

Steht MathType nicht zur Verfügung, so sollte an der gewünschten Stelle durch die folgende Befehlsfolge: „Einfügen“ → „Objekt“ → „Microsoft Formel-Editor“ eine in Word integrierte, „abgespeckte“ Version von MathType verwendet werden.

Sind Formelzeichen neu oder unklar so erfolgt eine Erläuterung aller Formelzeichen im Text vor oder nach der Formel oder als eigenständige Formelerläuterung direkt unter der eigentlichen Formel (Linksbündig, 10 Pt, nur in besonderen Fällen unter Angabe der Einheiten, Formatvorlage „Formel Erläuterung“ auf Zeile anwenden).

 **Error! Use the Home tab to apply Überschrift 1 to the text that you want to appear here.**.1



Schriftart für Formeln ist „Times New Roman“ und als Schriftgröße 12 pt vorzusehen, für tief- bzw. hochgestellte Zeichen 58 % hiervon.

Die Bezeichnung physikalischer Größenarten dürfen insbesondere in Gleichungen, Tabellen, Diagrammen usw. durch ein Symbol, das Formelzeichen, ersetzt werden. Bei der Festlegung von Formelzeichen ist DIN 1304 zu berücksichtigen.

Für die Schreibweise von Formeln ist DIN 1338 heranzuziehen. Insbesondere gilt demnach, dass Formelzeichen grundsätzlich kursiv zu setzen sind. Dies gilt auch für Indizes, wenn sie Formelzeichen und keine Abkürzungen sind, ansonsten Indizes gerade setzen.

Im Gegensatz zu Formelzeichen sind Einheiten geradestehend zu setzen (z. B. N, m, usw.). Zwischen Zahlenwert und Einheit einer physikalischen Größe ist ein geschütztes Leerzeichen zu setzen (Strg+Umschalt+Leertaste), z. B. 500 m, ebenso vor dem %-Zeichen. Details zu Einheiten siehe DIN 1301.

Bei Zahlenwerten ist als Dezimaltrennzeichen ausschließlich das Komma zu verwenden. Als Tausendertrennzeichen ist das geschützte Leerzeichen zu verwenden.

Eckige Klammern um Einheiten sind falsch, wenn auch eine immer noch weit ver-breitete Unsitte! Vielmehr gilt: Eine eckige Klammer [ ] um ein Formelzeichen bedeutet "Einheit von …", z. B. [U] = V, d. h. Einheit der Spannung gleich Volt.

Wird eine einfache Formel oder ein Zahlenwert mit Einheit als Formel im normalen Fließtext eingefügt (vor allem mit Bruchstrich), so ist ggf. für diesen Absatz gesondert die Absatzformatierung auf „Zeilenabstand“ -> „genau“ umzustellen. Andernfalls kann es zu zu großen Zeilenabständen kommen. Die Schriftart ist hier die Schriftart des Fließtextes, also Arial.

## Querverweise

Durch die Verwendung des Makros ist es sehr einfach möglich, innerhalb eines Dokumentes, d.h. hier eines Kapitels, Querverweise zu erzeugen. Hierzu wird unter Verweise der Befehl Querverweis ausgewählt. Wichtig ist, als Verweistyp „nur Kategorie und Nummer“ auszuwählen. Dies funktioniert sowohl für Tabellen und Bilder als auch für Gleichungen. Gesondert sind lediglich Literaturstellen zu behandeln.

## Farben

Nachfolgendes Farbschema, das über das Design automatisch zur Verfügung steht, kann als Orientierung verwendet werden. „Schrille“ Farben sind zu vermeiden.

* KTmfk-Blau (R101 G119 B158)
* Blau 1 (R122 G137 B172)
* Blau 2 (R191 G205 B237)
* Blau 3 (R220 G228 B245)
* KTmfk-Silber (R88 G88 B90) = 1. Grau
* KTmfk-Silber 1 (R128 G128 B128) = 2. Grau
* KTmfk-Silber 2 (R178 G178 B178) = 3. unter 2. Grau
* KTmfk-Silber 3 (R217 G217 B217) = 2. unter Weiß
* KTmfk-Gold (R255 G215 B45)
* KTmfk-Rot (R200 G0 B0)

# Rechtschreibung und Silbentrennung

Die Regeln der neuen deutschen Rechtschreibung vom 01.08.2006 sind verbindlich. Um bei Blocksatz allzu große Abstände zwischen einzelnen Wörtern zu vermeiden ist Silbentrennung konsequent anzuwenden. Bei Benutzung von Textverarbeitungsprogrammen ist, soweit möglich, die automatische Silbentrennung zu aktivieren.

# Literaturverzeichnis

Das Literaturverzeichnis ist in der Reihenfolge zu sortieren, in der die Literatur aufgeführt wird.

Das Literaturverzeichnis wird angelegt über die Formatvorlage Literaturverzeichnis mfk. Es wird so ein nummeriertes Element geschaffen, auf das im Text referenziert werden kann. Die Referenzierung erfolgt über Textmarken. Um den Nachnamen des Hauptautors wird eine Textmarke gelegt. Ihr Titel folgt der Form „Name\_Kurztitel\_Jahr“. Der Querverweis wird dann erstellt durch Querverweis einfügen -> „Textmarke“ und „Absatznummer“ -> Textmarke auswählen.

Die Anzeige der Textmarken kann in Word 2007/2010 aktiviert werden unter Word­Optionen -> Erweitert -> „Dokumenteninhalt anzeigen“ „Textmarken anzeigen“.

1. Name, V.: Titel ….
2. Eintrag 2
3. Eintrag 3

Alternativ kann auch die Literaturverwaltung Citavi 4.x oder Endnote verwendet werden, welche die automatische Erstellung eines Literaturverzeichnisses unterstützt (Word Plug-In).

Für das einwandfreie Zitieren von Literaturquellen sind bestimmte Richtlinien einzuhalten. Eine auf DIN 1502 und DIN 1505 basierende Richtlinie finden Sie in der KTmfk Richtlinie 2, welche Ihnen Ihr Betreuer in der jeweils gültigen Fassung zur Verfügung stellt.

1. Quellcode

Formatvorlage Quellcode

Zum Einfügen von formatiertem Quellcode inkl. Hervorhebungen empfiehlt sich folgende Vorgehensweise:

Datei mit Notepad++ öffnen. Sollte die Programmiersprache nicht automatisch erkannt und Keywords nicht hervorgehoben werden, kann meist unter Sprachen die entsprechende Syntax-Hervorhebung ausgewählt werden. Anschließend mit Erweiterungen → NppExport den Quellcode als rtf in die Zwischenablage kopieren und anschließend in Word einfügen. Abschließend ist nun noch auf den eingefügten Quelltext die Formatvorlage „Quelltext“ anzuwenden.

Über die Formatvorlage „Quellcode nummeriert“ kann der Quelltext mit Zeilennummern versehen werden, was gerade bei langen Quelltexten die Lesbarkeit verbessert.

1. **function** A\_Startprogramm\_aB
2. tic**;**
3. % Anzahl der WK, muss mit der Anzahl der WK in Lk\_rB uebereinstimmen!!!
4. z **=** 10**;**
5. % Schrittweite zwischen den Messpunkten, in Grad
6. t **=** 1**;**
7. v **=** 1**;**
8. % Maximaler Drehwinkel, in Grad
9. mt **=** 3600**/** z**;**
10. % Anzahl der Messpunkte
11. m **=** mt **/** t**;**
12. % Maximaler Index fuer die for-Schleife
13. n **=** m**+**1**;**
14. **for** p **=** 1 **:** 1 **:** n
15. ps **=** **(**p**-**1**)\***t**;**
16. C\_gesaB **=** B\_Hauptprogramm\_aB**(**ps**);**
17. vektor**(:,**p**)** **=** C\_gesaB**;**
18. **end**
19. Dokumentation und Technische Zeichnungen
20. Datenträger
21. Lebenslauf

Nur bei Masterarbeiten erforderlich!