

**Institut für Flugzeugbau
der Universität Stuttgart**

Masterarbeit

Beispiel Abschlussarbeit

Bearbeiter

Muster Student

Titel der Arbeit auf DEUTSCH

Titel der Arbeit auf ENGLISCH

Bachelorarbeit
von
Muster Student

Durchgeführt am
**INSTITUT FÜR FLUGZEUGBAU
UNIVERSITÄT STUTTGART**

Betreuer: M. Sc. Ruben Czichos

Stuttgart, im November 2018



Julian Markus Erler
Kremmlerstraße 77
70597 Stuttgart
Matr.-Nr.: 3361898

Institutsleitung

Prof. Dr. Peter Middendorf
Prof. Dr. Po Wen Cheng
Prof. Dr. Andreas Strohmayer

Kontakt

Pfaffenwaldring 31
70569 Stuttgart
T 0711 685-62402
F 0711 685-62449

Masterarbeit

Thema: Entwicklung eines Pre-Prozessors zur automatisierten numerischen Berechnung realistischer FKV-Mikrostrukturen

Kurzbeschreibung:

In den letzten Jahren ist ein vermehrter Anstieg an faserverstärkten Kunststoffen in der Automobil-, Luftfahrt, und Sportgeräteindustrie zu verzeichnen. Um eine maximale Ausnutzung des Werkstoffs zu erzielen sind genaue Kenntnisse über das mechanische Verhalten unabdingbar. Diese können in zeit- und kostenintensiven Versuch oder aber mit Hilfe numerischer Rechenmethoden ermittelt werden. Letztgenannte Methoden bieten den Vorteil die strukturellen Eigenschaften nicht nur auf makroskopischer Ebene, sondern auch auf mikroskopischer Ebene detailliert zu betrachten. Dies ist speziell bei FKV von besonderer Bedeutung. Im Rahmen dieser Arbeit soll daher ein bereits am Institut für Flugzeugbau entwickeltes Tool erweitert werden, um automatisiert realistische FKV-Mikrostrukturen sowohl zur Berechnung des Steifigkeitstensors als auch des nichtlinearen Spannungs-Dehnung-Verhaltens zu erstellen. Hierfür sind geeignete Materialmodelle in LS-Dyna auszuwählen, die die komplexen Versagensmechanismen innerhalb eines Faser-Kunststoff-Verbundes beschreiben können. Eine automatische Aufbringung von Last- und Randbedingungen ist ebenso Teil der Arbeit, wie die automatische Auswertung und Aufbereitung der Ergebnisse. Neben einlagigen Einheitszellen sollen auch mehrlagige Einheitszellen betrachtet werden. Die Arbeit wird mit einer Validierung der durchgeführten Berechnungen, sowie einer Dokumentation und anschließender Abschlusspräsentation komplettiert.

Arbeitspunkte:

- Literaturrecherche und Einarbeitung zu den Themen Mikrostrukturen von FKV, Homogenisierungsmethoden und Versagensverhalten von FKV auf Mikroebene
- Einarbeitung in LS-Dyna
- Entwicklung eines eigenen Pre-Prozessors für den schnellen Modellaufbau von ein- und mehrlagigen Einheitszellen
- Berechnung und Validierung der homogenisierten linear-elastischen Steifigkeiten sowie des nichtlinearen Spannungs-Dehnungs-Verhaltens der betrachteten Einheitszelle
- Dokumentation und Präsentation der Ergebnisse

Arbeit ausgegeben am: 13.05.2019

Arbeit abgegeben am:

Betreuer: Ruben Czichos (IFB)

Stuttgart, 25.04.2019

Prof. Dr.-Ing. Peter Middendorf

Kurzfassung

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue duis dolore te feugait nulla facilisi. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat.

Ut wisi enim ad minim veniam, quis nostrud exerci tation ullamcorper suscipit lobortis nisl ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue duis dolore te feugait nulla facilisi.

Nam liber tempor cum soluta nobis eleifend option congue nihil imperdiet doming id quod mazim placerat facer possim assum. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat. Ut wisi enim ad minim veniam, quis nostrud exerci tation ullamcorper suscipit lobortis nisl ut aliquip ex ea commodo consequat.

Abstract

Inhaltsverzeichnis

Nomenklatur

Zur Förderung der Übersichtlichkeit werden in der vorliegenden Arbeit Skalare mit normaler Strichstärke und Vektoren bzw. Matrizen fettgedruckt dargestellt.

Symbol	Bedeutung
Kräfte	
A	Auftrieb
F	Schub
W	Widerstand
Y	Seitenkraft
R	Reibung
$F_{\text{Überschuss}}$	Überschussleistung
W_{\min}	minimaler Widerstand
Momente	
L	Rollmoment
M	Nickmoment
N	Giermoment
Aerodynamische Beiwerte	
C_A	Auftriebsbeiwert
C_W	Widerstandsbeiwert
C_M	Nickmomentenbeiwert
$C_{A,\max}$	maximaler Auftriebsbeiwert
$C_{A,\text{roll}}$	Auftriebsbeiwert beim Rollvorgang
$C_{AP,0}$	Profilauftriebsbeiwert bei $\alpha = 0$
C_{A0}	Auftriebsbeiwert bei $\alpha = 0$
C_A^*	Auftriebsbeiwert im Punkt des besten Gleitens
$C_{W,\text{roll}}$	Widerstandsbeiwert beim Rollvorgang
$C_{W,\text{profil}}$	Widerstandsbeiwert des Profils
C_{W0}	Nullwiderstandsbeiwert (Widerstandsbeiwert bei $C_A = 0$)
C_{Wi}	induzierter Widerstandsbeiwert
$C_{W,\min}$	minimaler Widerstandsbeiwert
$C_{WP,A}$	auftriebsabhängiger Profilwiderstandsbeiwert
C_W^*	Widerstandsbeiwert im Punkt des besten Gleitens
C_a	Auftriebsbeiwert des Profils
C_w	Widerstandsbeiwert des Profils
C_m	Nickmomentenbeiwert des Profils
Geschwindigkeiten	
V	Geschwindigkeit
V_{\min}	Minimalgeschwindigkeit
V_{Start}	Abhebegeschwindigkeit
V^*	Geschwindigkeit im Punkt des besten Gleitens
u	horizontale Geschwindigkeit (in x-Richtung)
V_h	horizontale Geschwindigkeitskomponente
w	Sinkgeschwindigkeit
V_v	Steiggeschwindigkeit / vertikale Geschwindigkeitskomponente / SEP
V_K	Kurvengeschwindigkeit
V_{\min}	minimaler Kurvengeschwindigkeit

Geometrische Größen

S	Bezugs(flügel)fläche
l_μ	Bezugsflügeltiefe
l	Profiltiefe, Länge
b	Spannweite
Λ	Flügelstreckung
λ	Zuspitzung
r_K	Kurvenradius
$r_{K,min}$	minimaler Kurvenradius
s	Flugstrecke
h	Höhe

Aerodynamische Größen

Re	Reynoldszahl
α	Anstellwinkel
ϵ	Gleitzahl
γ	Bahnneigungswinkel
χ	Azimutwinkel
ϕ	Rollwinkel
ρ	Luftdichte
T	Temperatur
η	dynamische Viskosität
ν	kinematische Viskosität
p	Druck
q	Staudruck
k	Widerstandsfaktor
k_i	Widerstandsfaktor induzierter Widerstand
k_P	Widerstandsfaktor auftriebsabhängiger Profilwiderstand
Φ_A	Einflussfaktor des Bodeneffekts auf den Auftrieb
Φ_W	Einflussfaktor des Bodeneffekts auf den Widerstand
β_A	Faktor für Φ_A
β_W	Faktor für Φ_W
δ_A	Faktor für Φ_A
δ_W	Faktor für Φ_W

Weitere Größen

m	Masse
g	Gewichtskonstante
n	Lastvielfaches
n_{max}	maximales Lastvielvaches
t	Zeit
μ_{roll}	Rollreibungskoeffizient

Symbol	Bedeutung
\mathbf{A}	Prozessmatrix eines Systems / Beschleunigungsvektor
\mathbf{B}	Eingangsmatrix eines Systems
\mathbf{C}	Beobachtungsmatrix eines Systems
\mathbf{H}	Approximierte Messmatrix
\mathbf{P}	Schätzfehlerkovarianzmatrix
\mathbf{Q}	Prozessrauschkovarianzmatrix
\mathbf{R}	Messrauschkovarianzmatrix / Sichtlinie
$\dot{\mathbf{R}}$	Relativgeschwindigkeit
$\ddot{\mathbf{R}}$	Relativbeschleunigung
\mathbf{S}	Innovationskovarianzmatrix
\mathbf{T}_α	Drehmatrix
\mathbf{Z}	Filterinnovation
ϕ	Jacobi-Matrix
$\mathbf{\Pi}$	Übergangsmatrix
M	Anzahl Monte-Carlo-Simulationen
N	Navigationskonstante / Filteranzahl

Abkürzung	Bedeutung
APN	Augmented Proportional Navigation
CA	Constant Acceleration
CV	Constant Velocity
CM	Cruise Missiles
CT	Constant Turn

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

1 Einleitung

1.1 Motivation

Hier erfolgt die Hinführung zum Thema. Worum geht es? Was ist der Sinn und Zweck dieser Arbeit? Dem Leser wird hier auch erklärt, was ihn wo in dieser Arbeit erwartet.

Diese Bachelorarbeit ist entsprungen, um in der Akamodell Stuttgart effizienter Modellflugzeuge auslegen zu können. Die Akamodell Stuttgart ist ein eingetragener Verein an der Universität Stuttgart, an dem Studenten lernen Modellflugzeuge zu entwerfen und zu bauen. Dazu nimmt die Akamodell zwei-jährlich an der Air Cargo Challenge (ACC) teil. Die ACC ist ein Wettbewerb, bei dem verschiedene Teams aus europäischen und einigen internationalen Universitäten gegeneinander antreten, um ein Flugzeug zu konstruieren, dass dem Regelwerk entsprechend die Flugaufgaben möglichst gut zu erfüllen. Besonders für diese Wettbewerbe ist eine schnelle und qualitativ hochwertige Auslegung von Bedeutung. Da solche Auslegungen viel Know-how erfordern, ist es das Ziel ein Tool zu entwickeln, dass dieses vereinfacht.

1.1.1 Motivation genau

Im Speziellen befasst sich diese Arbeit mit der Massenabschätzung des Flugzeuges.

1.2 Zielsetzung

In dieser Arbeit soll ein Algorithmus entwickelt werden, der es ermöglicht in jedem Schritt der Modellflugzeugauslegung

1.3 Gliederung der Arbeit

In Folgenden werden zunächst die Grundlagen und Grundlagen erklärt. Danach wird der Stand der Technik der Flugzeugauslegung erklärt und der Bau und Aufbau von Modellflugzeugen erläutert. Danach

2 Grundlagen

2.1 Stand der Technik

Was sind die neusten Erkenntnisse auf dem Gebiet?

2.2 Unterschiede zwischen Seglern und motorisierten Flugzeugen

Einen Teil im Modellflug macht das Segelfliegen aus. Diese haben einige Vorteile gegenüber motorisierten Fliegern. Jene sparen Gewicht, da kein Motor und nur eine kleinere Batterie benötigt wird. Dafür können diese nur

2.3 Aufgaben

Startstrecke

Dieses Trifft nur zu, wenn das Flugzeug aus eigener Kraft starten soll und nicht geworfen oder geschleppt wird.

Je nach Gelände auf dem Geflogen werden soll, kann die Länge der Startstrecke von Relevanz sein. Probleme stellen dabei die Unterschiedlichen Rollwiderständen verschiedener Untergründe. Dabei hat Asphalt einen deutlich niedrigeren als hohes Gras. Für einen schnellen Start ist daher

2.4 Air Cargo Challenge

Im Folgenden werden einige Grundlagen erklärt. Dieses wird anhand des Beispiels ACC2022 getan.

2.4.1 Konstruktionsbeschränkungen

Im Modellflug ist die Größe des Modellflugzeuges hauptsächlich durch die EU-Drohnenverordnung geregelt. Dadurch dürfen nur Drohnen unter 25 kg geflogen werden, solange kein EU-Fernpiloten-Zeugnis vorhanden ist. Zusätzlich werden im ACC Regelwerk noch weitere Beschränkungen geregelt. Der Motor sowie die Batterie sind vorgegeben und das Flugzeug muss in eine Box mit den Seitenlängen 1.5 (m) passen und eine maximal höhe von 1 nicht überschreiten

2.4.2 Flugaufgabe

Für jedes Modellflugzeug muss eine Flugaufgabe definiert werden, auf die optimiert werden kann. Für die ACC muss zunächst eine möglichst kurze Startstrecke von 100 Meter bzw 50 Meter erreicht werden.

3 Hauptteil

3.1 Algorithmus

3.1.1 Flugzeugdarstellung

Das Flugzeug wird als Klasse dargestellt. Dieses hat verschiedene Parameter darunter

3.1.2 Gitternetz

Um verschiedene Parameter zu bestimmen, muss zunächst ein 3D-Objekt aus dem Flugzeug erstellt werden. Dafür wird bei dem Flügel das Profil auf die jeweiligen Punkte projiziert und über die erzeugten Profile ein Netz bestehend aus Dreiecken gespannt.

3.1.3 Parameterbestimmung

Flügelfläche

Da das Gitternetz durch Dreiecke dargestellt wird, kann man die Oberfläche als Summe der Flächen der Dreiecke berechnet werden.

$$A = \sum \frac{|AB \times AC|}{2}$$

Die Referenzflügelfläche kann über die Außenpunkte

Flügelvolumen

Das Volumen eines Flügelsegments kann über die Summe eines sechstels des Spatproduktes der drei Ecken der Dreiecke bestimmt werden. Dabei ist die Reihenfolge der Punkte so zu wählen, dass der Normalenvektor aus dem Körper zeigt.

$$V = \sum \frac{(a \times b) \cdot c}{6}$$

3.1.4 Lastenbestimmung

4 Ergebnisse

Hier werden alle während der Arbeit gewonnenen Informationen ausführlich dargestellt, diskutiert und interpretiert. Dabei sollte im Bezug zur Ausgangssituation ein Ergebnis/Erkenntnisgewinn bzw. eine Verbesserung/Änderung vorliegen und eine Schlussfolgerung mit Empfehlung gezogen werden. Aufgetretene Diskrepanzen und mögliche Ursachen sollten klar dargestellt werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Zum Schluss sollte nochmals die wesentlichen Ergebnisse klar herausgestellt werden. Außerdem kann ein Ausblick für weitere Arbeiten/Untersuchungen in diesem Bereich erfolgen. Umfang beträgt hier ca. 2 Seiten.

Anhang

Hier können noch Tabellen, Messprotokolle, Rechnerprotokolle, Konstruktionszeichnungen sowie Programmcodes und ähnliches zur Dokumentation angeheftet werden.

Eidesstattliche Erklärung und Urheberrecht bei studentischen Arbeiten

Hiermit räume ich, "Name, Vorname, Matrikelnummer, Anschrift" der Universität Stuttgart, Institut für Flugzeugbau, ein kostenloses, zeitlich und räumlich unbeschränktes, einfaches Nutzungsrecht an der von mir erstellten Bachelor,- Master - oder sonstigen studentischen Arbeit mit dem Titel

Titel der Arbeit

und den im Rahmen dieser Arbeit entstandenen Arbeitsergebnissen ein. Ich erkläre, die Arbeit selbständig verfasst und bei der Erstellung dieser Arbeit die einschlägigen Bestimmungen, insbesondere zum Urheberrechtsschutz fremder Beiträge, eingehalten zu haben. Soweit meine Arbeit fremde Beiträge (z.B. Bilder, Zeichnungen, Textpassagen) enthält, erkläre ich, dass diese Beiträge als solche gekennzeichnet sind (z.B. Zitat, Quellenangabe) und ich eventuell erforderlich gewordene Zustimmungen der Urheber zur Nutzung dieser Beiträge in meiner Arbeit eingeholt habe. Für den Fall der Verletzung Rechte Dritter durch meine Arbeit, erkläre ich mich bereit, der Universität Stuttgart einen daraus entstehenden Schaden zu ersetzen bzw. die Universität Stuttgart auf deren Aufforderung von eventuellen Ansprüchen Dritter freizustellen.

Das der Universität Stuttgart hiermit eingeräumte Nutzungsrecht erstreckt sich auf sämtliche bekannte Nutzungsarten und umfasst neben dem Recht auf Nutzung der Arbeitsergebnisse in Forschung, Lehre und Studium, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung, das Recht zur Bearbeitung und Änderung inklusive Nutzung, Vervielfältigung und Verbreitung der dabei entstehenden Ergebnisse, sowie insbesondere das Recht der öffentlichen Zugänglichmachung im Internet sowie das Recht der Weiterübertragung auf einen Dritten ohne meine erneute Zustimmung.

Mir ist bekannt, dass die Einräumung des Nutzungsrechts der öffentlichen Zugänglichmachung auch beinhaltet, dass mein Name im Zusammenhang mit dem Titel der oben genannten Arbeit auf den Webseiten der Universität Stuttgart genannt werden kann. Mir ist auch bekannt, dass - sofern meine Arbeit selbst nicht im Internet zugänglich gemacht wird - die Einräumung des Nutzungsrechts der öffentlichen Zugänglichmachung auch umfasst, dass die Universität Stuttgart auf ihren Webseiten meinen Namen im Zusammenhang mit dem Titel der oben genannten Arbeit (z.B. in Listen über am Institut abgeschlossene studentische Arbeiten) nennen kann.

Außerdem übertrage ich der Universität Stuttgart das Eigentum an einem von mir der Bibliothek des Instituts für Flugzeugbau kostenlos zur Verfügung gestellten Exemplars meiner oben genannten Arbeit und räume der Universität Stuttgart auch für dieses Exemplar die oben genannten Nutzungsrechte ein.

Student

Ort, Datum, Unterschrift

