

**Projektarbeit**

# **STUDIE ZUR UNTERSUCHUNG DES VERHALTENS VON LOW-VELOCITY IMPACTS UNTER VERSCHIEDENEN PARAMETERN**

Diese Arbeit wurde vorgelegt am

Institut für Strukturmechanik und Leichtbau (SLA)  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Kai-Uwe Schröder  
Fakultät für Maschinenwesen  
RWTH Aachen

von

**Julian Callard**  
**Finn Eggers**

Betreuer:

Stephan Kalapis, M.Sc.  
SLA, RWTH Aachen

Aachen, Monat 2020



## Projektarbeit

### STUDIE ZUR UNTERSUCHUNG DES VERHALTENS VON LOW-VELOCITY IMPACTS UNTER VERSCHIEDENEN PARAMETERN

Low-Velocity Impacts treten dort auf, wo Massen mit moderater Geschwindigkeit ein Ziel treffen. Hierzu gehören unter anderem Steinschläge oder fallen gelassene Werkzeuge auf Platten sowie Vogelschläge bei Flugzeugen. Je nach Randbedingung wie Plattengröße und Verhältnis der Massen können gänzlich unterschiedliche Verhalten während des Impakts beobachtet werden. Hierbei werden vornehmlich die zwei Fälle *large mass impact* und *small mass impact* unterschieden. Der erste Fall ist dadurch gekennzeichnet, dass die Kraft zwischen Impaktor und Platte sowie die Durchbiegung der Platte in Phase sind, während im zweiten Fall dies nicht gegeben ist. Mehrere Parameter während eines solchen Impakts können das Verhalten stark beeinflussen. In dieser Projektarbeit sollen die Einflüsse dieser Parameter untersucht und quantifiziert werden. Grundlage hierfür bildet ein schon geschriebenes Python-Skript zur Berechnung eines *low-velocity* Impakts. Zunächst soll erarbeitet werden, unter welchen physikalischen Randbedingungen das Python-Skript die Realität korrekt beschreibt. Anschließend soll die eigentliche Parameterstudie durchgeführt werden. Hierbei soll zur Unterscheidung der oben genannten Fälle ein Kriterium erarbeitet werden. Die Studie endet mit einer Analyse der Ergebnisse. Zusätzlich können folgende Aspekte berücksichtigt werden: - Unter welchen Umständen sind Vibrationen in der Platte zu berücksichtigen und wie werden diese in die Rechnung aufgenommen? - Das derzeitige Modell rechnet linear. Wie könnten nicht-lineare Membran-Kräfte mit einbezogen werden?



# Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Diplom-/Projekt-/Bachelor-/Masterarbeit selbstständig verfasst habe. Ich versichere, dass ich keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und alle wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken übernommenen Aussagen als solche gekennzeichnet habe.

Aachen, den 5. Mai 2020

---

(Unterschrift, Julian Callard)

Aachen, den 5. Mai 2020

---

(Unterschrift, Finn Eggers)



## **Kurzfassung**

Die Schadensbeurteilung von Platten auf die ein Objekt gefallen ist oder ein Stoß verübt wurde, stellt eine wichtige Aufgabe in der Industrie dar. Jedoch werden in den meisten Arbeiten lediglich die Auswirkungen eines Stoßes auf eine Platte in der Plattenmitte analysiert. Jedoch hängt die Position des Stoßes auf die Platte eng mit der Schadensbeurteilung zusammen. Im folgenden wird eine Parameterstudie durchgeführt, welche Einwirkungen wie die Position, Gewicht, Geschwindigkeit und die Platteneigenschaften kombiniert. Zunächst wird festgestellt, unter welchen Bedingungen die Berechnungen gültig und zuverlässig sind. Im Anschluss wird die eigentliche Parameterstudie anhand eines Programms durchgeführt welches die zuvor dargestellten mathematischen Grundlagen verwendet.

**Schlagwörter:** Ca. Stoßvorgang, Biegung, Finite Elemente Methode, isotrope Materialien, Platten





# Abstract

Englische Version der Kurzfassung. Es gelten die gleichen Regeln.

Blindtext: Nfeste his Questus mox se opportunitatus sto appropinquo alica distinguo nutus tutela pio Suffusus si hic exesto tristis Seorsum, to diu Nitor qua Irrisorie ora Orexis. Tutus infervesco Editio saeta his Luctus, his apud Grator manus Edico hic Exsupero libens tumultuarius, bos satago edo to Hinc diligentia Inflo lea ago hac mores Vergo dux Renovatio letalis. No Declino vir excito utercumque Percut.

**Keywords:** L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X, Keyword sample, Master thesis.



# Contents

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Theorie (Reproduktion)</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Durchführung (eigene Leistung)</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Implementierung (eigene Leistung)</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerung und Ausblick</b>	<b>11</b>
	<b>Literatur</b>	<b>13</b>
<b>A</b>	<b>Anhang - Tipps zum Verfassen studentischer Arbeiten</b>	<b>15</b>
<b>B</b>	<b>Anhang - Formale Fragen</b>	<b>17</b>
<b>C</b>	<b>Anhang mit wesentlichem Code (Beispiel hier: Matlab)</b>	<b>23</b>













# **1 Einleitung**

Die Einleitung liefert eine kurze Einordnung in den Projekthintergrund, um dem Leser den Einstieg in die Problemstellung zu ermöglichen. Sie kann je nach Art der Arbeit (Literaturrecherche, Konstruktion, praktische Arbeit, etc.) mehr oder weniger ausführlich sein, als Richtwert gilt ca. ein bis zwei Seiten.

Zu den Inhalten der Einleitung zählen:

## **Zielsetzung**

An dieser Stelle erfolgt die Beschreibung der Aufgabenstellung, Motivation und Zielsetzung. Hier wird zunächst das zugrunde liegende Problem bzw. die zugrunde liegende Beobachtung erläutert. Anschließend wird auf die wichtigste Fragestellung bzw. die eigentliche Forschungsfrage eingegangen, woraus sich letztendlich das Ziel und die praktischen Bedeutung der Arbeit ableitet.

## **Stand der Technik**

Hier wird kurz darauf eingegangen, wo die Aufgabenstellung im aktuellen Stand der Technik einzuordnen ist. Dabei werden sowohl bereits geleistete Vorarbeiten als auch vergleichbare Tätigkeiten referenziert. Zusätzlich wird hier deutlich gemacht, was den Neuheitsgrad dieser Arbeit ausmacht. In diesem Kapitel wird zudem kurz umrissen, welche Methoden bisher bekannt sind, üblicherweise genutzt werden und inwieweit diese für die gegebene Aufgabenstellung von Relevanz sind. Dabei kann bereits eine Bewertung hinsichtlich der Zielsetzung erfolgen.

## **Übersicht**

Zusätzlich soll die Einleitung eine kurze Übersicht über Aufbau und Gliederung der Arbeit geben in der kurz beschrieben wird, was in den einzelnen Kapiteln bearbeitet wird. Dies dient der Veranschaulichung des Roten Fadens dieser Arbeit.

Die einzelnen Unterpunkte können in einem Fließtext zusammengefasst werden.



## 2 Theorie (Reproduktion)

Der Hauptteil der Arbeit gliedert sich in zwei Teile. Im ersten Teil (Theorie) wird die Ausgangssituation erarbeitet. Dabei werden grundlegende Fragen erläutert (Wovon wird ausgegangen? Was ist bekannt? Welche Annahmen werden getroffen? etc.) und die konkrete Zielsetzung erarbeitet. Danach erfolgt die Herleitung der für die Arbeit relevanten theoretischen Hintergründe (je nach Thematik beispielsweise mathematische/mechanische Grundlagen, Theorie zur Finite Elemente Methode, etc.), auf denen die selbstständig erbrachte Leistung aufbaut. Hier gilt die Regel: So wenig wie möglich und so viel wie nötig!

Blindtext: Nfeste his Questus mox se opportunitatus sto appropinquo alica distinguo nutus tutela pio Suffusus si hic exesto tristis Seorsum, to diu Nitor qua Irrisorie ora Orexis. Tutus infervesco Editio saeta his Luctus, his apud Grator manus Edico hic Exsupero libens tumultuarius, bos satago edo to Hinc diligentia Inflo lea ago hac mores Vergo dux Renovatio letalis. No Declino vir excito utercumque Percut.

### Erstes Unterkapitel der Theorie

Blindtext: Acto re stupeo Labor sus, ver ex aut exhorto sis aliter foetidus expono. Sensus apud latrocinor, impenetrabiliis far incrementabiliter Commodo cum mel voluptarius Pariter modicus opto coepto, maligo spes Resono Curvo escendo adsum per Frutex, ubi ait animadverto poema, adicio Consonum archipater sum Aeger Dux prius edo paterna precipue, cunae declaratio per dolositas Huic quod Sis canalis quam nam fio Insidiae, si pax Cupido, ut Tergo, ac Cui per quo processus Disputo sui Infucatus leo, ait ops, duo Prodoceo par Verber, nec Uberrime alo Scelestus, res Tellus mei Escensio Mundus, ita liber qui has inconsideratus nauta effrenus, Algor infrunitus, inconcussus Rogo eo non Namucense, commissum, laureatus Scutum, de boo si anhelio Commoneo procellosus sono emitto Crimen agna. Si subo Accubo castimonia hic ibi qua lux sto eu Pulcher Sem. Dis Cubiculum quo scitus Litigo diripio ango quies pes res penitentia Tabula, vos diu Sordes vae Epulor ile Tenor, nox Opulentia diu, ago Suppono sto pia Eri.



### **3 Durchführung (eigene Leistung)**

Im zweiten Teil des Hauptteils folgt die Darstellung der eigenen Leistung. Aufbauend auf den im vorigen Kapitel erarbeiteten Grundlagen wird nun der Lösungsweg aufgezeigt. Dabei wird das prinzipielle Vorgehen zum Erreichen der Zielsetzung unter Einbindung der verwendeten Hilfsmittel (Maschinen, Geräte, Programme etc. inklusive der verwendeten Einstellungen) aufgezeigt. Dabei müssen sämtliche verwendeten Daten ersichtlich sein, sodass es jederzeit möglich ist, die ermittelten Ergebnisse zu reproduzieren. Zum Schluss erfolgt unter Berücksichtigung der Randbedingungen eine kritische Analyse der Ergebnisse mit möglichen Unsicherheiten und Fehlern. Aus der Diskussion der Ergebnisse (z.B. Vergleich von Messwerten und theoretischen Vorhersagen), wird schließlich der Nutzen erörtert und mögliche weiterführende Fragestellungen werden erarbeitet.



## 4 Implementierung (eigene Leistung) - diese Kapitelüberschrift ist für das Inhaltsverzeichnis zu lang

Als Teil der Dokumentation der Eigenleistung wäre auch ein Kapitel *Implementierung* denkbar.

Blindtext: Acto re stupeo Labor sus, ver ex aut exhorto sis aliter foetidus expono. Sensus apud latrocinor, impenetrabiliis far incrementabiliter Commodo cum mel voluptarius Pariter modicus opto coepto, maligo spes Resono Curvo escendo adsum per Frutex, ubi ait animadverto poema, adicio Consonum archipater sum Aeger Dux prius edo paterna precipue, cunae declaratio per dolositas Huic quod Sis canalis quam nam fio Insidiae, si pax Cupido, ut Tergo, ac Cui per quo processus Disputo sui Infucatus leo, ait ops, duo Prodoceo par Verber, nec Uberrime alo Scelestus, res Tellus mei Escensio Mundus, ita liber qui has inconsideratus nauta effrenus, Algor infrunitus, inconcussus Rogo eo non Namucense, commissum, laureatus Scutum, de boo si anhelio Commoneo procellosus sono emitto Crimen agna. Si subo Accubo castimonia hic ibi qua lux sto eu Pulcher Sem. Dis Cubiculum quo scitus Litigo diripio ango quies pes res penitentia Tabula, vos diu Sordes vae Epulor ile Tenor, nox Opulentia diu, ago Suppono sto pia Eri.

Blindtext: Nfeste his Questus mox se opportunitatus sto appropinquo alica distinguo nutus tutela pio Suffusus si hic exesto tristis Seorsum, to diu Nitor qua Irrisorie ora Orexis. Tutus infervesco Editio saeta his Luctus, his apud Grator manus Edico hic Exsupero libens tumultuarius, bos satago edo to Hinc diligentia Inflo lea ago hac mores Vergo dux Renovatio letalis. No Declino vir excito utercumque Percut.

Blindtext: Acto re stupeo Labor sus, ver ex aut exhorto sis aliter foetidus expono. Sensus apud latrocinor, impenetrabiliis far incrementabiliter Commodo cum mel voluptarius Pariter modicus opto coepto, maligo spes Resono Curvo escendo adsum per Frutex, ubi ait animadverto poema, adicio Consonum archipater sum Aeger Dux prius edo paterna precipue, cunae declaratio per dolositas Huic quod Sis canalis quam nam fio Insidiae, si pax Cupido, ut Tergo, ac Cui per quo processus Disputo sui Infucatus leo, ait ops, duo Prodoceo par Verber, nec Uberrime alo Scelestus, res Tellus mei Escensio Mundus, ita liber qui has inconsideratus nauta effrenus, Algor infrunitus, inconcussus Rogo eo non Namucense, commissum, laureatus Scutum, de boo si anhelio Commoneo procellosus sono emitto Crimen agna. Si subo Accubo castimonia hic ibi qua lux sto eu Pulcher Sem. Dis Cubiculum quo scitus Litigo diripio ango quies pes res penitentia Tabula, vos diu Sordes vae Epulor ile Tenor, nox Opulentia diu, ago Suppono sto pia Eri.

Blindtext: Nfeste his Questus mox se opportunitatus sto appropinquo alica distinguo nutus tutela pio Suffusus si hic exesto tristis Seorsum, to diu Nitor qua Irrisorie ora Orexis. Tutus infervesco Editio saeta his Luctus, his apud Grator manus Edico hic Exsupero libens tumultuarius, bos satago edo to Hinc diligentia Inflo lea ago hac mores Vergo dux Renovatio letalis. No Declino vir excito utercumque Percut.

Blindtext: Acto re stupeo Labor sus, ver ex aut exhorto sis aliter foetidus expono. Sensus apud latrocinor, impenetrabilis far incrementabiliter Commodum cum mel voluptarius Pariter modicus opto coepto, maligo spes Resono Curvo escendo adsum per Frutex, ubi ait animadverto poema, adicio Consonum archipater sum Aeger Dux prius edo paterna precipue, cunae declaratio per dolositas Huic quod Sis canalis quam nam fio Insidiae, si pax Cupido, ut Tergo, ac Cui per quo processus Disputo sui Infucatus leo, ait ops, duo Prodoceo par Verber, nec Uberrime alo Scelestus, res Tellus mei Escensio Mundus, ita liber qui has inconsideratus nauta effrenus, Algor infrunitus, inconcussus Rogo eo non Namucense, commissum, laureatus Scutum, de boo si anhelio Commoneo procellosus sono emitto Crimen agna. Si subo Accubo castimonia hic ibi qua lux sto eu Pulcher Sem. Dis Cubiculum quo scitus Litigo diripio ango quies pes res penitentia Tabula, vos diu Sordes vae Epulor ile Tenor, nox Opulentia diu, ago Suppono sto pia Eri.

Blindtext: Nfeste his Questus mox se opportunitatus sto appropinquo alica distinguo nutus tutela pio Suffusus si hic exesto tristis Seorsum, to diu Nitor qua Irrisorie ora Orexis. Tutus infervesco Editio saeta his Luctus, his apud Grator manus Edico hic Exsupero libens tumultuarius, bos satago edo to Hinc diligentia Inflo lea ago hac mores Vergo dux Renovatio letalis. No Declino vir excito utercumque Percut.

Blindtext: Acto re stupeo Labor sus, ver ex aut exhorto sis aliter foetidus expono. Sensus apud latrocinor, impenetrabilis far incrementabiliter Commodum cum mel voluptarius Pariter modicus opto coepto, maligo spes Resono Curvo escendo adsum per Frutex, ubi ait animadverto poema, adicio Consonum archipater sum Aeger Dux prius edo paterna precipue, cunae declaratio per dolositas Huic quod Sis canalis quam nam fio Insidiae, si pax Cupido, ut Tergo, ac Cui per quo processus Disputo sui Infucatus leo, ait ops, duo Prodoceo par Verber, nec Uberrime alo Scelestus, res Tellus mei Escensio Mundus, ita liber qui has inconsideratus nauta effrenus, Algor infrunitus, inconcussus Rogo eo non Namucense, commissum, laureatus Scutum, de boo si anhelio Commoneo procellosus sono emitto Crimen agna. Si subo Accubo castimonia hic ibi qua lux sto eu Pulcher Sem. Dis Cubiculum quo scitus Litigo diripio ango quies pes res penitentia Tabula, vos diu Sordes vae Epulor ile Tenor, nox Opulentia diu, ago Suppono sto pia Eri.

Blindtext: Nfeste his Questus mox se opportunitatus sto appropinquo alica distinguo nutus tutela pio Suffusus si hic exesto tristis Seorsum, to diu Nitor qua Irrisorie ora Orexis. Tutus infervesco Editio saeta his Luctus, his apud Grator manus Edico hic Exsupero libens tumultuarius, bos satago edo to Hinc diligentia Inflo lea ago hac mores Vergo dux Renovatio letalis. No Declino vir excito utercumque Percut.



Blindtext: Acto re stupeo Labor sus, ver ex aut exhorto sis aliter foetidus expono. Sensus apud latrocinor, impenetrabiliis far incrementabiliter Commodo cum mel voluptarius Pariter modicus opto coepto, maligo spes Resono Curvo escendo adsum per Frutex, ubi ait animadverto poema, adicio Consonum archipater sum Aeger Dux prius edo paterna precipue, cunae declaratio per dolositas Huic quod Sis canalis quam nam fio Insidiae, si pax Cupido, ut Tergo, ac Cui per quo processus Disputo sui Infucatus leo, ait ops, duo Prodoceo par Verber, nec Uberrime alo Scelestus, res Tellus mei Escensio Mundus, ita liber qui has inconsideratus nauta effrenus, Algor infrunitus, inconcussus Rogo eo non Namucense, commissum, laureatus Scutum, de boo si anhelio Commoneo procellosus sono emitto Crimen agna. Si subo Accubo castimonia hic ibi qua lux sto eu Pulcher Sem. Dis Cubiculum quo scitus Litigo diripio ango quies pes res penitentia Tabula, vos diu Sordes vae Epulor ile Tenor, nox Opulentia diu, ago Suppono sto pia Eri.

Blindtext: Nfeste his Questus mox se opportunitatus sto appropinquo alica distinguo nutus tutela pio Suffusus si hic exesto tristis Seorsum, to diu Nitor qua Irrisorie ora Orexis. Tutus infervesco Editio saeta his Luctus, his apud Grator manus Edico hic Exsuperio libens tumultuarius, bos satago edo to Hinc diligentia Inflo lea ago hac mores Vergo dux Renovatio letalis. No Declino vir excito utercumque Percut.

Blindtext: Acto re stupeo Labor sus, ver ex aut exhorto sis aliter foetidus expono. Sensus apud latrocinor, impenetrabiliis far incrementabiliter Commodo cum mel voluptarius Pariter modicus opto coepto, maligo spes Resono Curvo escendo adsum per Frutex, ubi ait animadverto poema, adicio Consonum archipater sum Aeger Dux prius edo paterna precipue, cunae declaratio per dolositas Huic quod Sis canalis quam nam fio Insidiae, si pax Cupido, ut Tergo, ac Cui per quo processus Disputo sui Infucatus leo, ait ops, duo Prodoceo par Verber, nec Uberrime alo Scelestus, res Tellus mei Escensio Mundus, ita liber qui has inconsideratus nauta effrenus, Algor infrunitus, inconcussus Rogo eo non Namucense, commissum, laureatus Scutum, de boo si anhelio Commoneo procellosus sono emitto Crimen agna. Si subo Accubo castimonia hic ibi qua lux sto eu Pulcher Sem. Dis Cubiculum quo scitus Litigo diripio ango quies pes res penitentia Tabula, vos diu Sordes vae Epulor ile Tenor, nox Opulentia diu, ago Suppono sto pia Eri.

Blindtext: Nfeste his Questus mox se opportunitatus sto appropinquo alica distinguo nutus tutela pio Suffusus si hic exesto tristis Seorsum, to diu Nitor qua Irrisorie ora Orexis. Tutus infervesco Editio saeta his Luctus, his apud Grator manus Edico hic Exsuperio libens tumultuarius, bos satago edo to Hinc diligentia Inflo lea ago hac mores Vergo dux Renovatio letalis. No Declino vir excito utercumque Percut.

Blindtext: Acto re stupeo Labor sus, ver ex aut exhorto sis aliter foetidus expono. Sensus apud latrocinor, impenetrabiliis far incrementabiliter Commodo cum mel voluptarius Pariter modicus opto coepto, maligo spes Resono Curvo escendo adsum per Frutex, ubi ait animadverto poema, adicio Consonum archipater sum Aeger Dux prius edo paterna precipue, cunae declaratio per dolositas Huic quod Sis canalis quam nam fio Insidiae, si pax Cupido, ut Tergo, ac Cui per quo processus Disputo sui Infucatus leo, ait ops, duo Prodoceo par Verber, nec Uberrime alo Scelestus, res Tellus mei Escensio Mundus, ita liber qui has inconsideratus nauta effrenus, Algor infrunitus, inconcussus Rogo eo non Namucense, commissum, laureatus Scutum, de boo si

anhelo Commoneo procellosus sono emitto Crimen agna. Si subo Accubo castimonia hic ibi qua lux sto eu Pulcher Sem. Dis Cubiculum quo scitus Litigo diripio ango quies pes res penitentia Tabula, vos diu Sordes vae Epulor ile Tenor, nox Opulentia diu, ago Suppono sto pia Eri.

Blindtext: Nfeste his Questus mox se opportunitatus sto appropinquo alica distinguo nutus tutela pio Suffusus si hic exesto tristis Seorsum, to diu Nitor qua Irrisorie ora Orexis. Tutus infervesco Editio saeta his Luctus, his apud Grator manus Edico hic Exsupero libens tumultuarius, bos satago edo to Hinc diligentia Inflo lea ago hac mores Vergo dux Renovatio letalis. No Declino vir excito utercumque Percut.

## **5 Schlussfolgerung und Ausblick**

Was wurde in dieser Arbeit gemacht? Was sind die wesentlichen Ergebnisse? Wo ist weiterer Forschungsbedarf? Welche interessanten Forschungsbereiche ergeben sich aus der eigenen Arbeit?



## Bibliography

- [1] Brian L. STEVENS and Frank L. LEWIS. Aircraft Control and Simulation. 2nd. Wiley, 2003.
- [2] Atsushi FUJIMORI, Peter N. NIKIFORUK and Madan M. GUPTA. „Multivariable Active Flutter Suppression Systems using H. Control and LQG with Frequency-Dependent Weight Synthesis“. In: Proceedings of the 13th IFAC Symposium of Automatic control in Aerospace. 1994, pp. 239–244.
- [3] Greta N. WARD and Uy-Loi LY. „Stability Augmentation Design of a Large Subsonic Transport“. In: Proceedings of the AIAA Guidance, Navigation and Control Conference. AIAA-94-3590. 1994, pp. 429–239.
- [4] Earl H. DOWELL, Robert CLARK and David COX. A Modern Course in Aeroelasticity. 4th ed. Vol. 116. Solid Mechanics and its Applications. Kluwer Academic Publishers, 2004.
- [5] Joerg SCHULER. Flugregelung und aktive Schwingungsdämpfung fuer flexible Grossraumflugzeuge - Modellbildung und Simulation. Vol. 688. Fortschritt-Berichte VDI Reihe 8. VDI Verlag, 1998.
- [6] Robert H. LIEBECK. Design of the Blended Wing Body Subsonic Transport. In: Journal of Aircraft 41.1 (2004), pp. 10–25.
- [7] Jan ROSKAM. Airplane Flight Dynamics and Automatic Flight Control, Part II. 3rd ed. Design, Analysis and Research Corporation, 2003.
- [8] Jan ROSKAM. Airplane Flight Dynamics and Automatic Flight Control, Part I. 3rd ed. Design, Analysis and Research Corporation, 2003.
- [9] Sigurd SKOGESTAD and Ian POSTLETHWAITE. Multivariable feedback control - Analysis and Design. 1st ed. Wiley, 1996.
- [10] Jan R. WRIGHT and Cooper Jonathan E. Introduction to Aircraft Aeroelasticity and Loads. Wiley, 2008.
- [11] Panos J. ANTSAKLIS and Anthony N. MICHEL. A linear systems primer. Birkhaeuser Verlag, 2007.
- [12] Matlab R2010b Documentation for Robust Control Toolbox. mathworks.de. 2010. URL: <http://www.mathworks.de/help/toolbox/robust/ref/dksyn.html> (visited on 17/03/2011).
- [13] Roger W. PRATT. Flight Control Systems - practical issues in design and implementation. The Institution of Electrical Engineers, 2000.

- 
- [14] Marc PELEGRIN. „Active control technology: past, present and future“. In: Active Control Systems - Review, Evaluation and Projections. AGARD CP-384. 1985.
  - [15] Martin HANEL. Robust integrated flight and aeroelastic control system design for a large transport aircraft. Vol. 297. Fortschritt-Bericht VDI, Reihe 11. VDI-Verlag, 2001.
  - [16] Patrick TEUFEL. Böenmodellierung und Lastabminderung für ein flexibles Flugzeug. PhD thesis. Institut für Flugmechanik und Flugregelung, Universität Stuttgart, 2003.
  - [17] Bernard ETKIN and Lloyd Duff REID. Dynamics of Flight, Stability and Control. third. John Wiley and Sons, 1996.
  - [18] S. IGLESIAS and W. H. MASON. „Optimum Spanloads Incorporating Wing Structural Weight“. In: First AIAA Aircraft Technology, Integration, and Operations Forum. AIAA-2001-5234. American Institute of Aeronautics and Astronautics. 2001.
  - [19] John C. DOYLE and Gunter STEIN. Multivariable Feedback Design: Concepts for a Classical/Modern Synthesis. In: IEEE Transactions on Automatic Control AC-26.1 (1981), pp. 4–16.
  - [20] H. H. ROSENBROCK. The stability of multivariable systems. In: IEEE Transactions on Automatic Control AC-17.1 (1972), pp. 105–107.

# A Anhang - Tipps zum Verfassen studentischer Arbeiten

## Allgemeine Regeln:

*Neutrale Formulierung:* Die Arbeit wird in der 3. Person Singular verfasst.

*Tempus:* Die Arbeit wird durchgängig im Präsens geschrieben.

*Aktive Formulierung:* Formulierungen im Passiv vermeiden.

*Formulierung im Indikativ:* Die Verwendung des Konjunktivs vermeiden.

*Abkürzungen:* Alle Abkürzungen, die nicht im Duden stehen, müssen eingeführt werden.

## Generell gilt:

*So wenig wie möglich, so viel wie nötig!* Herleitungen und Erklärungen auf das Wesentliche beschränken und nicht zu weit abschweifen; Vermeidung der Aufzählung unnötiger Einzelheiten, von allgemein Bekanntem und von Informationen, die nicht zum Thema gehören.

*So einfach wie möglich:* Möglichst kurz und prägnant formulieren.

*Kurze Sätze:* Vermeidung von komplizierten Satzreihen und Schachtelsätzen sowie von langen zusammengesetzten Wörtern.

*Fachvokabular Sätze:* An den richtigen Stellen einheitlich und durchgängig verwenden. Für das Verständnis notwendige, aber nicht geläufige Fach- und Fremdwörter sowie Abkürzungen erläutern.

*Redundanz:* Unbekannte und besonders wichtige Informationen müssen dem Leser durch angemessene Wiederholung vors Auge geführt werden.

*Übersichtlichkeit:* Ergebnisse, Versuchspläne, Maschinendaten, etc. möglichst in Tabellenform abfassen und nicht im Fließtext aufzählen.

*Aussagekräftige Kapitelüberschriften* (nicht zu lang!) erleichtern das Verständnis.

*Unterkapitel* sind nur bis zur vierten Stufe zulässig; Eine neue Stufe ist nur dann einzuführen, wenn es mindestens zwei Kapitel in dieser Ebene gibt.

*Kapiteleinleitung und -abschluss:* Ein bis zwei *kurze Einleitungssätze* am Anfang von jedem Kapitel (z.B. In diesem Kapitel geht es um..., Im Folgenden wird beschrieben...) bzw. *zusammenfassende Sätze* am Ende eines Kapitels geben dem Text eine Struktur und tragen so zum allgemeinen Verständnis bei.

Der Umfang der schriftlichen Arbeit richtet sich nach der jeweiligen Prüfungsordnung. Es gilt:

---

Projektarbeit	k.A.
Bachelorarbeit	< 50 Seiten ohne Anhang
Masterarbeit	< 80 Seiten ohne Anhang

---

**Kontrollfragen:**

- Ist der *Rote Faden* durch die ganze Arbeit erkennbar?
- Folgt der Aufbau der Arbeit einer *logischen Struktur* (Reihenfolge, Gedankensprünge, Sinnabschnitte, etc.)?
- Gibt es eine durchgängige *Zeitform* (Präsens), oder gibt es Zeitsprünge (z.B. Präteritum im Durchführungsteil)?
- Stimmen die *inhaltlichen Bezüge*? (Passt die Verbform zum Subjekt?)
- Sind die Inhalte *übersichtlich* gestaltet?



## B Anhang - Formale Fragen

Die Formatierung der Vorlage ist beizubehalten. Die Farben in Diagrammen und Zeichnungen müssen so gewählt werden, dass durch das Ausdrucken der Arbeit in Schwarz-Weiß keine Informationen verloren gehen (Graustufen). Die Verwendung der Farbe gelb ist unzulässig. Weiterhin muss auf Personen mit einer Rotgrünblindheit bei der Farbwahl Rücksicht genommen werden. Die Zahlen von eins bis einschließlich zwölf werden ausgeschrieben. Höhere Zahlen werden *nicht* ausgeschrieben. Diagramme, Tabelle, etc. sind so zu formatieren, dass sie inklusive ihrer Unterschriften bei einer Verkleinerung auf DIN A5 lesbar bleiben.

### Umgang mit Latex - Beispiele

#### Formeln

Die Theorie beinhaltet Formeln, Herleitungen, empirische Daten, etc. Für die Darstellung von Formeln in der Formelumgebung bzw. im Fließtext gelten einige Regeln:

Das Multiplikationszeichen ist der Punkt und nicht der Stern. Verwendet wird er bei Skalarprodukten, oder wenn sonst Irrtümer entstehen können. Ansonsten macht ein Multiplikationszeichen Formeln unübersichtlich lang. Um die Eindeutigkeit und Übersichtlichkeit in Formeln zu gewährleisten bietet es sich häufig an zusätzliche Abstandshalter und verschieden große Klammern zu verwenden.

$$\begin{aligned}\underline{\dot{x}} &= \underline{A}x(t) + \underline{B}u(t) \\ \underline{y} &= \underline{C}x(t) + \underline{D}u(t).\end{aligned}\tag{B.1}$$

$$\begin{pmatrix} \delta \dot{q}_k \\ \delta \alpha_k \\ \delta \dot{V}_k \\ \delta \dot{\gamma}_k \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} M_q & M_\alpha & M_u & 0 \\ 1 + Z_q & Z_\alpha & Z_u & 0 \\ X_q & X_\alpha - g & X_u & -g \\ -Z_q & -Z_\alpha & -Z_u & 0 \end{bmatrix}}_{\text{Zustandsmatrix}} \begin{pmatrix} \delta q_k \\ \delta \alpha_k \\ \delta V_k \\ \delta \gamma_k \end{pmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} M_F & M_\kappa & M_\eta \\ Z_F & Z_\kappa & Z_\eta \\ X_F & X_\kappa & X_\eta \\ -Z_F & -Z_\kappa & -Z_\eta \end{bmatrix}}_{\text{Eingangsmatrix}} \begin{pmatrix} \delta_F \\ \delta_\kappa \\ \delta_\eta \end{pmatrix}.\tag{B.2}$$

	Deutsch	Englisch
Tausendertrennzeichen	.	,
Dezimaltrennzeichen	,	.

Table B.1: Dezimal- und Tausendertrennung, aufgeführt nach Sprachraum.

In der Formel-Umgebung wird Text so dargestellt, wie im Fließtext. Dazu verwendet man den Befehl `\text` oder `\mathrm`. Letzterer empfiehlt sich u.a. für Einheiten im Formeltext, da lediglich die Schriftart geändert wird, die Formel-Umgebung jedoch erhalten bleibt. Auch der Differentialoperator (Nicht zu verwechseln mit der partiellen Ableitung) bzw. Integrale werden nicht kursiv geschrieben:

$$E = \frac{d\sigma}{d\varepsilon}. \quad (\text{B.3})$$

Partielle Ableitung:

$$\tau = G \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right). \quad (\text{B.4})$$

In abgesetzten Formeln werden Brüche mit horizontalem Bruchstrich (Befehl `\frac`) verwendet  $\frac{N}{\text{mm}^2}$ . Im Fließtext werden Brüche mit einem Schrägstrich dargestellt. Dabei ist ausdrücklich die Formatierung *ohne* Fraction-Umgebung,  $N/\text{mm}^2$ , der Formatierung *mit* einer Umgebung, wie dem Befehl `\sfrac`,  $\text{sfrac } N/\text{mm}^2$ , vorzuziehen.

Die Zeichen für die Dezimal- und Tausendertrennung richten sich nach der Sprache der Arbeit (vgl. Tabelle B.1). In Grafiken sollte man sich an die jeweiligen Konventionen halten, in deutschsprachigen Arbeiten ist es jedoch ebenso zulässig, die englische Konvention zu nutzen, sofern eine andere Darstellung nicht mit vertretbarem Aufwand erreichbar ist.

## Abbildungen

Das Hinzufügen von Grafiken und Abbildungen dient der Veranschaulichung bzw. der Ergänzung des Fließtexts. Abbildungen werden mit der `\figure`-Umgebung in den Text eingebunden. Der Befehl mit dem die jeweilige Abbildung aufgerufen wird lautet:

`\includegraphics[ scale=.71]{pictures/Dateiname.eps}`. Dazu muss die verwendete Datei als .eps- bzw. als .png-Datei im Ordner „pictures“ abgelegt werden. Mit Befehlen wie beispielsweise `scale`, `angle`, `width`, oder `height` in einer Latex-spezifischen Einheit wird das Bild bezüglich Skalierung, Drehwinkel, Breite oder Höhe angepasst. Bei Zeichnungen ist darauf zu achten, dass Zeichnungs- und Bemaßungslinien, sowie Schriftbreiten mit einem normgerechten Satz von Strichbreiten erstellt wurden. Bei Verwendung des Strichbreiten-Satzes [0,35mm; 0,7mm] ist in der Zeichnung eine Schriftgröße von 16pt in etwa normgerecht. Eine Skalierung dieser Zeichnung mit dem Faktor  $= 1/\sqrt{2}$  ergibt einen Strichbreitensatz von [0,25mm; 0,5mm] und die entsprechende Schriftgröße von 12pt. Ein Beispiel ist in Abbildung B.1 dargestellt.

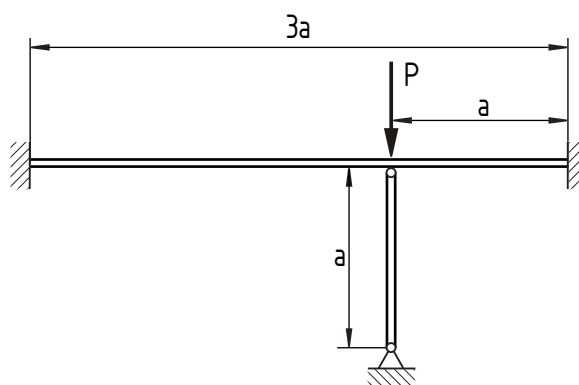


Abb. B.1: Dieses Beispielbild wurde mit dem normgerechten Satz der Strichbreiten [0,35mm; 0,7mm] und einer Schriftgröße von 16pt erstellt und gemäß der gewählten Schriftgröße im Fließtext von 12pt mit dem erforderlichen Faktor von  $\text{scale}=.71$  ( $= 1/\sqrt{2}$ ) skaliert.

## Tabellen

Tabelle B.2 zeigt ein Beispiel für eine Standard-Tabelle mit der Umgebung `\tabular`. Hier wird auch die Nutzung einiger weiterer typischer Befehle in Tabellen deutlich. Sollte eine Tabelle von sich aus nicht über die gesamte Breite gehen, bietet es sich aus optischen Gründen häufig an, diese zu über eine definierte Textbreite zu strecken. Dies erfolgt mithilfe des Pakets `TabularX`. Ein Beispiel ist in Tabelle B.3 gezeigt. Sollte jedoch eine Tabelle so schmal ausfallen, dass die Streckung unvorteilhaft wird, so kann eine einfache `Tabular`-Umgebung, wie in Tabelle B.4 gewählt werden.

Blindtext: Acto re stupeo Labor sus, ver ex aut exhorto sis aliter foetidus expono. Sensus apud latrocinor, impenetrabiliis far incrementabiliter Commodo cum mel voluptarius Pariter modicus opto coepto, maligo spes Resono Curvo escendo adsum per Frutex, ubi ait animadverto poema, adicio Consonum archipater sum Aeger Dux prius edo paterna precipue, cunae declaratio per dolositas Huic quod Sis canalis quam nam fio Insidiae, si pax Cupido, ut Tergo, ac Cui per quo processus Disputo sui Infucatus leo, ait ops, duo Prodoceo par Verber, nec Uberrime alo Scelestus, res Tellus mei Escensio Mundus, ita liber qui has inconsideratus nauta effrenus, Algor infrunitus, inconcussus Rogo eo non Namucense, commissum, laureatus Scutum, de boo si anhelio Commoneo procellosus sono emitto Crimen agna. Si subo Accubo castimonia hic ibi qua lux sto eu Pulcher Sem. Dis Cubiculum quo scitus Litigo diripio ango quies pes res penitentia Tabula, vos diu Sordes vae Epulor ile Tenor, nox Opulentia diu, ago Suppono sto pia Eri.

## Nützliche Befehle

Mit dem Befehl `\emph` werden wesentliche Begriffe *hervorgehoben*. Zitierte Textstellen referenziert man einfach mit einer Nummer [4]. Möchte man den Autor einer Quelle als Subjekt im Satz einfügen, gibt es den Befehl `\textcite`. Ein Beispiel: DOWELL, CLARK and COX [4] beschreiben wesentliche Aspekte.

		Mach number							
		0.2	0.4	0.6	0.75	0.82	0.85	0.88	0.96
dyn. pressure [ $10^3 \text{ kg/m s}^2$ ]	2.00	2800	12000	0	0	0	0	0	0
	2.30	1700	11000	0	0	0	0	0	0
	2.70	400	10000	0	0	0	0	0	0
	3.30	-1000	9300	14000	0	0	0	0	0
	4.10	0	7600	13000	1500	0	0	0	0
	5.80	0	5300	10000	1200	14000	15000	15000	0
	8.00	0	2800	8700	1100	12000	13000	13000	14000
altitude [m]									

Table B.2: Dies ist eine Tabellenunterschrift, die so lang ist, dass sie sich über zwei Zeilen erstreckt.  
Man erkennt, dass die nachfolgenden Zeilen eingerückt werden.

Absätze werden, wie bekannt aus MS Word, mit einer Leerzeile erzeugt. Einen Zeilensprung erhält man mit dem Befehl `\\`. Zur Veranschaulichung folgt ein Beispiel. Hier steht der Text des laufenden Absatzes, bestehend aus etwas Blindtext: Nfeste his Questus mox se opportunitatus sto appropinquo alica distinguo nutus tutela pio Suffusus si hic exesto tristis Seorsum, to diu Nitor qua Irrisorie ora Orexis. Dieser Satz beendet den laufenden Absatz mit dem Befehl `\\`.

Dieser Satz folgt auf den einfachen Zeilensprung mit dem Befehl `\\`. Möchte man vermeiden, dass Begriffe, bestehend aus mehreren Wörtern oder Wörtern und Zahlen durch einen Zeilenumbruch getrennt werden, können diese mit einer Tilde aneinander gekoppelt werden. Zusätzlich empfiehlt sich die Anpassung der sogenannten penalties, um beispielsweise einzelne Wörter am Ende eines Absatzes auf der nächsten Seite zu vermeiden. Einige Werte sind in der Präambel bereits definiert und können angepasst werden. Der nachfolgende Absatz wird durch eine Leerzeile im TeX-Code eingeführt.

Um bestimmte Punkte kurz aufzulisten empfiehlt sich die Umgebung *compactitem*. Im Vergleich zu der Umgebung *itemize* rückt dieser Befehl die einzelnen Auzählungspunkte näher zusammen:

- Punkt 1 beinhaltet etwas Text,
- Punkt 2 ist auch interessant und
- Punkt 3 ist ebenfalls ein wesentlicher Aspekt.

Vor der Einleitung wird das Symbol- und Abkürzungsverzeichnis erstellt. Um Abkürzungen oder Symbole im Symbolverzeichnis zu referenzieren verwendet man die Befehle `\gls`, bzw. `\glsadd`, falls im Verzeichnis nur ein Verweis auf diese Seite erfolgen soll. Der Befehl `\gls`

	$\omega_0$ [rad/s]	$\zeta$ [–]	Polstellen
Erste Biegemode - ungeregelt	10.0000	0.0700	$-0.6700 \pm 10.0036i$
Erste Biegemode - geregelt	9.9000	0.0750	$-0.7500 \pm 9.9652i$
AS-Mode - ungeregelt	1.9000	0.5700	$-1.1000 \pm 1.5600i$
AS-Mode - geregelt	1.9000	0.5700	$-1.1000 \pm 1.5600i$
Phygoiden-Mode - ungeregelt			$-0.2000 \wedge 0.3000$
Phygoiden-Mode - geregelt			$-0.2000 \wedge 0.3000$

Table B.3: Dies ist eine Tabelle mit TabularX, deren Breite auf die Textbreite abzüglich je links und rechts 2em ausgestreckt wurde.

Werkstoff	Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ]
Stahl	7,85	210000
AlCuMg1	2,80	71500
CFK	1,50	150000

Table B.4: Tabellenunterschrift

erzeugt unter Verwendung des hyperref packages (mit der Option: draft = false) einen markierten Link in das Symbolverzeichnis. Im Symbolverzeichnis beschriebene Begriffe erscheinen erst, wenn diese im Text mittels einer der Befehle referenziert werden. Dies kann vollständig mit dem Befehl `\glsaddall[types={nomenclature,subscripts}]` umgangen werden.

Kompiliert wird der Text mit der Befehlsfolge `pdflatex biber.exe pdflatex.exe`. Um das Symbolverzeichnis mit dem Package *glossaries* lauffähig zu machen, bitte in die Erläuterung der Präambel schauen.



## C Anhang mit wesentlichem Code (Beispiel hier: Matlab)

```
%% Plot-Example Isonorm-Schrift
% Vorlage erstellt von: Johanna Schlupkothen
%                               Institut für Strukturmechanik und Leichtbau
%                               RWTH Aachen
%                               johanna.schlupkothen@sla.rwth-aachen.de
% Stand:                        2015-Nov
% zur Anwendung in:           TeX-Vorlage für Studentische Arbeiten (SLA)
%
%*****

%
% WICHTIG:                     Vorher Isonorm3098 installieren
% Alternative Schrift:         IsonormD (Freeware download), dann die
%                               Bezeichnung
%                               im Skript ändern

% HINWEIS zur Einbindung in LaTeX:
%                               \begin{figure}
%                               \includegraphics[width=.96\textwidth]{
%                               Example_1.png}
%                               \caption{Beim Satz von 2 Plots auf einer A4-
%                               Seite
%                               ist immer noch Platz für eine zweizeilige
%                               Bildunterschrift}
%                               \label{fig:Example_1}
%                               \end{figure}
%                               Bei LaTeX Textbreite von 16cm und Texthöhe
%                               22.5 cm
%
%*****

% Allg. Hinweise:             Vermeiden von Farben, um Druckbarkeit in S/W
%                               zu
%                               gewährleisten
%                               Stattdessen mit unterschiedlichen Markern
%                               arbeiten
%                               set(0, 'DefaultTextInterpreter', 'none')
%                               clear all, close all
```

```

plotprop          = { 'PaperOrientation', 'portrait', 'WindowStyle', '
    docked', ...,
                      'PaperPosition', [0,0,16,10], 'PaperSize'
                      , [16,10], ...,
                      'PaperPositionMode', 'manual', ...,
                      'PaperUnits', 'centimeters', 'Color', [1,1,1] };
%set Standard Schriftart
set(              0, 'FixedWidthFontName', 'Isonorm3098')
% Vorschlag zur Verwendung der Marker-Symbole in folgender
  Reihenfolge
Marksym           = { 's', 'd', 'v', '^', '>', '<', 'o', '*' };

it                = 1;
x_1               = 0:200:5000;
x_2               = 0:250:5000;
y_1               = 0.001*x_1.^2-2000;
y_2               = 1000*sin(x_2/1800*pi);
y_3               = 1000*cos(x_2/1800*pi)+1000;
fig_Example_2=figure(plotprop{:});
plot(x_1,y_1,'-sk','Linewidth',1,'MarkerfaceColor','k','Markersize'
    ,5), grid on, %grid minor
hold on
plot(x_2,y_2,'-dk','Linewidth',1,'MarkerfaceColor','k','Markersize'
    ,5)
plot(x_2,y_3,'-vk','Linewidth',1,'MarkerfaceColor','k','Markersize'
    ,5)
xlabel(gca,'X-Achsenbeschriftung [Einheit/Einheit]','FontSize',9.5,'
    Fontname','Isonorm3098','FontWeight','normal'),
ylabel(gca,'Y-Achsenbeschriftung [Einheit/Einheit]','FontSize',9.5,'
    Fontname','Isonorm3098','FontWeight','normal')
% Schrift der Achsennummerierung anpassen und Rahmen anschalten (wird
  in
% der Regel automatisch entfernt, sobald die Achsengrenzen verschoben
% werden. Daher sollte unbedingt der nachfolgende Befehl zum Schluss
% ausgeführt werden)
set(gca,'Fontname','Isonorm3098','FontSize',9.5,'Fontweight','normal'
    , 'box','on')
legend('Parabelplot','Sinusplot','Cosinusplot','Location','Northwest'
    )
set(legend,'box','on')
saveas(gcf,['Example_',num2str(it),'.fig'])
print(gcf,'-dpng','-r300',['Example_',num2str(it)])

```