



Masterarbeit

# Entwicklung eines 0D-Modells für Flugzeugtriebwerksemissionen zur Rußpartikelanalyse

*Development of a 0D model for aircraft engine  
emissions for soot particle analysis.*

NN

Matrikelnummer:

Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Jens Friedrichs  
Betreuer: Jan Göing, M.Sc.



# Entwicklung eines 0D-Modells für Flugzeugtriebwerksemissionen zur Rußpartikelanalyse

Masterarbeit  
für NN, MN

Der Luftverkehrssektor spielt mit seinem umfangreichen globalen Fußabdruck eine entscheidende Rolle in modernen Transportsystemen und trägt etwa 2,5% der weltweiten Gesamtemissionen von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und rund 5% des insgesamt strahlungsinduzierten Klimaeinflusses bei (Lee et al., 2009). Angesichts dieser bedeutenden Herausforderung hat die Europäische Union ehrgeizige Ziele festgelegt, um die Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens 55% zu reduzieren ("Fit for 55") und langfristig bis 2050 eine Netto-Null-Emissionsbilanz zu erreichen (EU Green Deal).

Dennoch ist der Einfluss weiterer Emissionstypen auf den strahlungsinduzierten Klimaeinfluss (RF) noch unklar, insbesondere bei Emissionen wie Rußaerosolen. Diese Partikel, die oft ein Nebenprodukt unvollständiger Verbrennung sind, haben komplexe und schlecht verstandene Auswirkungen auf den Strahlungshaushalt der Erde, insbesondere hinsichtlich ihrer potenziellen Wechselwirkungseffekte (Lee et al., 2021). Eine solche bemerkenswerte Wechselwirkung besteht mit Kondensstreifen, oder Contrails. Contrails sind die sichtbaren Schlieren, die durch Flugzeugabgase erzeugt werden und aus Wasserdampf bestehen, der sich unter bestimmten atmosphärischen Bedingungen um Rußaerosole zu Eispartikeln gefriert (Paoli and Karim Shariff, 2016). Diese persistenten Contrails können sich zu Contrail-Zirruswolken entwickeln, die eine erwärmende Wirkung auf das Klima der Erde haben (Heymsfield et al., 2010). Das Zusammenspiel von Rußaerosolen und Contrails führt somit zu einer erheblichen Unsicherheit bei der Quantifizierung des gesamten RF-Einflusses von Flugzeugemissionen (Kärcher and Yu, 2009). Diese Unsicherheiten nehmen insbesondere bei der Integration von drop-in-Technologien zu, was eine wissenschaftliche Analyse erfordert, um potenzielle Auswirkungen vollständig zu verstehen und zu mindern

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines 0D-Brennkammermodelles zur Analyse von solchen Rußpartikeln.

Nähere Informaiton bei:

Jan Göing

Raum: 209. Tel: +49 531 391 94207

---

Im Rahmen der Arbeit sollen folgende Aufgabenpunkte bearbeitet werden:

1. Literaturrecherche und Einarbeitung in Turbofantriebwerke (insbesondere CFM56-5B), thermische Turbokomponenten und GasTurb
2. Leistungssynthese des CFM56-5B Turbofantriebwerks
3. Teillastbetrachtung des CFM56-5B Turbofantriebwerks
4. Leistungsanalyse des CFM56-5B Turbofantriebwerks in Teillast
5. Auswertung des Leistungsmodells
6. Dokumentation der Arbeit
  - a) Abgabe der schriftlichen Dokumentation in gebundener und digitaler Form
  - b) Abgabe der Abschlusspräsentation in digitaler Form
  - c) Abgabe des Quelltextes in Form eines git-Repositorys

**Literatur:**

1. **The Jet Engine**, *Rolls Royce*
2. **Gasturbinen und Flugantriebe: Grundlagen, Betriebsverhalten und Simulation**, *Hans Rick*, Springer Verlag 2013
3. **Flugzeugtriebwerke: Grundlagen, Aero-Thermodynamik, ideale und reale Kreisprozesse, Thermische Turbomaschinen, Komponenten, Emissionen und Systeme**, *Willy J.G. Bräunling*, Springer Verlag 2015
4. **Propulsion and power. An exploration of gas turbine performance modeling**, *Joachim Kurzke, Ian Haliwell*, Springer Verlag 2018

---

*Anmerkungen:*

Der Bearbeitungsumfang und die Bearbeitungsdauer dieser Arbeit richten sich nach der zurzeit gültigen Master-Prüfungsordnung für den Studiengang Maschinenbau an der Technischen Universität Braunschweig.

Eine Veränderung der Aufgabenstellung bleibt den Prüfenden vorbehalten.

Kurz vor oder nach Abgabe der schriftlichen Ausarbeitung sind die Ergebnisse der Arbeit den Prüfenden in einem Vortrag zu präsentieren. Termin nach Vereinbarung (innerhalb von 2 Wochen vor bzw. nach Abgabe).

Drei Exemplare der Arbeit bleiben Eigentum des Instituts. Die Arbeit ist zusätzlich in digitaler Form (PDF-Dateiformat) abzugeben.

Der Verkehr mit dritten Personen oder mit Firmen über den Gegenstand der Arbeit ist nur mit Genehmigung des Unterzeichners gestattet.

Eine Arbeit, die in Zusammenarbeit mit einem Unternehmen entstanden und als geheim eingestuft ist, darf nicht auf dem Docoloc-Server zur weiteren Plagiatsprüfung gespeichert werden.

Übernommene Textstellen, Diagramme, Abbildungen, Zahlenwerte u.ä. sind mit vollständiger Quellenangabe zu versehen. Es sind die „Hinweise für die Anfertigung von studentischen Arbeiten am IFAS“ zu beachten.

*Weitere Vereinbarungen zwischen Student und Institut:*

Ich verpflichte mich jegliches Know-how, das mir das Institut zur Verfügung stellt (u.a. auch Daten, Zeichnungen, Berechnungen, Software), als vertraulich zu behandeln und nur für den Zweck dieser Arbeit zu verwenden. Eine Veröffentlichung und/ oder Verwertung des Gegenstandes meiner Arbeit werde ich, soweit das genannte Know-how betroffen ist, nur im Rahmen einer vorherigen schriftlichen Vereinbarung mit dem Institut vornehmen.

Die mir zur Durchführung meiner Arbeit überlassenen Arbeitsmittel (einschließlich Schlüssel) werde ich nur zweckentsprechend nutzen und nach Beendigung der Arbeit umgehend ordnungsgemäß zurückgeben. Insbesondere verpflichte ich mich bei den Tätigkeiten, die ich im Institut ausführe, keine Kopien der am Institut vorhandenen Software zum privaten Gebrauch anzufertigen, generell Kopien nur in Übereinstimmung mit den Lizenzbedingungen des Herstellers anzufertigen und die gesetzlichen Bestimmungen zum Urheberschutz zu beachten. Darüber hinaus werde ich keine Daten, die mir im Rahmen meiner Arbeit zugänglich gemacht wurden, auf privaten Datenträgern speichern.

Mir ist bekannt, dass die von mir abzugebende Arbeit und ggf. weitere Exemplare üblicherweise in der Institutsbibliothek bzw. Universitätsbibliothek eingestellt werden und damit öffentlich zugänglich sind. Bei berechtigtem Interesse (z.B. Patentanmeldung) wird das Institut, wenn ich zuvor rechtzeitig einen schriftlichen Antrag stelle, die erste Veröffentlichung meiner Arbeit bis zu einem mit dem Institut noch zu vereinbarenden Zeitpunkt zurückstellen. Soweit dies in einem Ausnahmefall nicht möglich sein sollte, wird mir dies vom Institut unverzüglich mit einer entsprechenden Begründung schriftlich mitgeteilt.

---

Ich räume der Universität an den Ergebnissen meiner Arbeit ein einfaches Nutzungsrecht für Forschung und Lehre ein. In diesem Zusammenhang erkläre ich mich bereit, alle im Rahmen meiner Arbeit erstellten Unterlagen, Materialien, Laboruntersuchungen und Zwischenergebnisse - soweit diese zum Verständnis und zur Nachvollziehbarkeit meiner Arbeit erforderlich sind - sowie Software und Software-Listings, einschließlich des Quellcodes, dem Institut zur Einsicht und zur Anfertigung einer Kopie zur Verfügung zu stellen. Bei einer Verwertung meiner Arbeitsergebnisse im urheberrechtlichen Sinne (z.B. Verbreitung, Vervielfältigung, Weiterentwicklung) werde ich, soweit ich nicht ausdrücklich darauf verzichte, durch Nennung meines Namens als Urheber bezeichnet.

Braunschweig, den 16. Mai 2023

---

Prof. Dr.-Ing. J. Friedrichs

---

Unterschrift Student(in)

Ausgabe am: 17. Mai 2023

Rückgabe am: nicht zutreffend

*Vereinbarungen zwischen NN (Student) und Institut:*

Ich verpflichte mich jegliches Know-how, das mir das Institut zur Verfügung stellt (u.a. auch Daten, Zeichnungen, Berechnungen, Software), als vertraulich zu behandeln und nur für den Zweck dieser Arbeit zu verwenden. Eine Veröffentlichung und/oder Verwertung des Gegenstandes meiner Arbeit werde ich, soweit das genannte Know-how betroffen ist, nur im Rahmen einer vorherigen schriftlichen Vereinbarung mit dem Institut vornehmen. Die zur Verfügung gestellten Daten dürfen weiterhin nicht auf externen Cloud-Speichern (z. B. Google Drive, Onedrive, iCloud usw.) abgespeichert werden. Eine Veröffentlichung und/oder Verwertung des Gegenstandes meiner Arbeit werde ich, soweit das genannte Know-how betroffen ist, nur im Rahmen einer vorherigen schriftlichen Vereinbarung mit dem Institut vornehmen. Darüber hinaus werde ich Daten, die mir im Rahmen meiner Arbeit zugänglich gemacht wurden, nach Abschluss meiner Arbeit von privaten Datenträgern unwiderruflich löschen.

Die mir zur Durchführung meiner Arbeit überlassenen Arbeitsmittel (einschließlich Schlüssel) werde ich nur zweckentsprechend nutzen und nach Beendigung der Arbeit umgehend ordnungsgemäß zurückgeben. Insbesondere verpflichte ich mich bei den Tätigkeiten, die ich im Institut ausführe, keine Kopien der am Institut vorhandenen Software zum privaten Gebrauch anzufertigen, generell Kopien nur in Übereinstimmung mit den Lizenzbedingungen des Herstellers anzufertigen und die gesetzlichen Bestimmungen zum Urheberschutz zu beachten.

---

Ort, Datum

Unterschrift Student(in)

# Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, NN, geb. am XX.YY.ZZZZ, an Eides statt, die vorliegende Studienarbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet zu haben.

Braunschweig, 25. Mai 2023

# Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	vi
Nomenklaturverzeichnis	vii
Abbildungsverzeichnis	viii
Tabellenverzeichnis	ix

# Abbildungsverzeichnis

# Tabellenverzeichnis