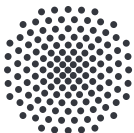




Bachelorarbeit

Entwicklung des Avionik-Thermal-Managements
einer Experimentalrakete

Viktor Hoffmann



Universität Stuttgart

Institut für Thermodynamik der Luft- und Raumfahrt (ITLR)

Direktor: Prof. Dr.-Ing. habil. Bernhard Weigand

Kurzzusammenfassung

Eine Leistungsstarke Avionik ist ein Grundstein einer jeden erfolgreichen Forschungsrakete. Ob es hierbei um redundante Flugcomputer, Telekommunikation über weite Distanzen oder Datenerfassung während dem Flug geht, Hochleistungsmikroelektronik ist immer gefragt. Diese Elektronik, die zudem noch extrem kompakt sein muss und extremen Bedingungen ausgesetzt ist, kommt jedoch mit einer substantiellen Abwärme, an welcher Stelle eine Thermal Management Lösung entwickelt werden muss, um nicht die Lebensdauer der Komponenten oder sogar die komplette Mission zu gefährden.

Abstract

Inhaltsverzeichnis

Kurzzusammenfassung	I
Tabellenverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	V
Symbolverzeichnis	VI
1 Einführung	1
1.1 Darstellung des Problems	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit	1
1.3 Lösungsweg	1
2 Grundlagen	2
2.1 Unterkapitel	2
2.2 Unterkapitel Nr.2	2
2.2.1 ein anderes Unterkapitel	3
3 Methodik	4
3.1 PCM	4
3.2 Radiator	6
3.3 PCM Radiator Hybrid	7
4 Ergebnisse	10
5 Discussion and conclusions	11
5.1 Discussion about including pictures	11
5.2 Ausblick	14
6 Zusammenfassung und Ausblick	15
Appendix	17

Tabellenverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

3.1	PCM Auslegung	5
3.2	Radiator Leistung nach Fläche und Temperatur	6
3.3	PCM Wärmestrom während Flug	8
5.1	Dieser Text erscheint im Abbildungsverzeichnis	11
5.2	Geschwindigkeitsverteilung über 2D-Rohr	12
5.3	Shock tube wave-diagram (x,t-diagram).	12
5.4	Schematische Darstellung der externen Kopplung beim 3-Domain- Modell zwischen Heißgasströmung, poröser und nicht poröser Wand sowie Kühlgasströmung [3]	13
5.5	Vergleich von Wandwärmestromdichte $\dot{q}_{w,HG}$ (links) und Wandtempe- ratur $T_{w,HG}$ (rechts) an der Heißgasseite mit Daten von ArianeGroup für verschiedene turbulente Prandtl-Zahlen Pr_t . [3]	13

Symbolverzeichnis

Lateinische Symbole

B_M - mass transfer number

Griechische Symbole

α $\text{W}/(\text{m}^2 \text{K})$ heat transfer coefficient

Indizes

0 initial condition

Hochgestellte Indizes

ct continuum regime

Abkürzungen

PCM Phase Change Material

BLAST Biliquid launch and Space Technology

FCC Flight Control Computer

HyEnD Hybrid Engine Development

1 Einführung

Für die im Rahmen des aktuellen Projekts Biliquid launch and Space Technology ([BLAST](#)) der Studentischen Hochschulgruppe Hybrid Engine Development ([HyEnD](#)) neu entwickelte Avionik soll eine Therman-Management-Lösung entwickelt werden.

1.1 Darstellung des Problems

- Neues Projekt mit eigener Avionik
- Leistungsstarke Avionik mit Redundantem Flight Control Computer ([FCC](#))
- Schwierige Umweltbedingungen
- (Pad ist nicht teil des Problems)

Beim aktuellen Projekt der Hochschulgruppe HyEnD wird eine neue Avionik mit einem selbst entwickelten gebaut. Durch

1.2 Zielsetzung der Arbeit

- Entwicklung eines Thermal-Managements für die komplette Flugdauer
- Ausfallsicher
- Leichtbau
- Wiederverwendbar

1.3 Lösungsweg

- Phase Change Material ([PCM](#))
- Radiator
- Hybrid-Lösung

2 Grundlagen

2.1 Unterkapitel

Eine Gruppe von Gleichungen, die geordnet untereinander stehen, wie z.B.

$$V_{ges} = \sum_{i=1}^n V_i \quad (2.1)$$

$$\text{mit } V_i = \int_V \alpha_i dV, \quad (2.2)$$

könnten so aussehen. Dabei ist α_i der Volumenanteil der Phase i im betrachteten Volumen. Die Summe aller Volumenanteile muss notwendigerweise 1 ergeben.

Es ist wichtig, dass auftauchende Variablen im Text erklärt werden und in der Nomenklatur erscheinen.

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1 \quad (2.3)$$

2.2 Unterkapitel Nr.2

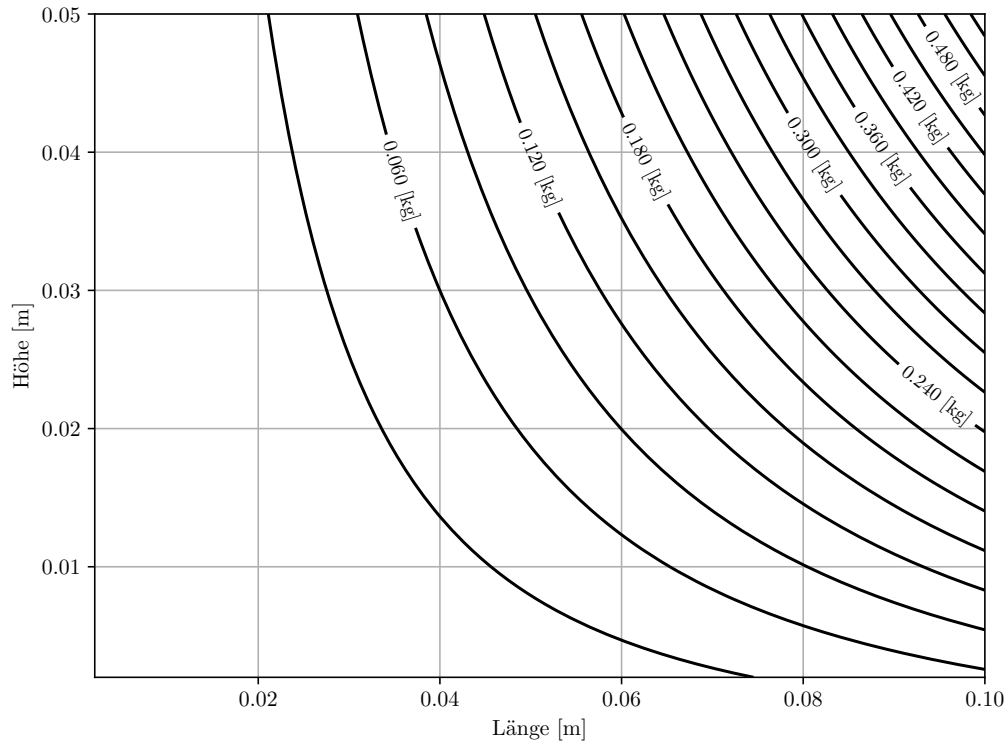
2.2.1 ein anderes Unterkapitel

In Kap. [2.2.1](#) wird gezeigt, wie Verweise und Referenzen aussehen [\[5\]](#)
[\[1, 2, 4, 6\]](#)

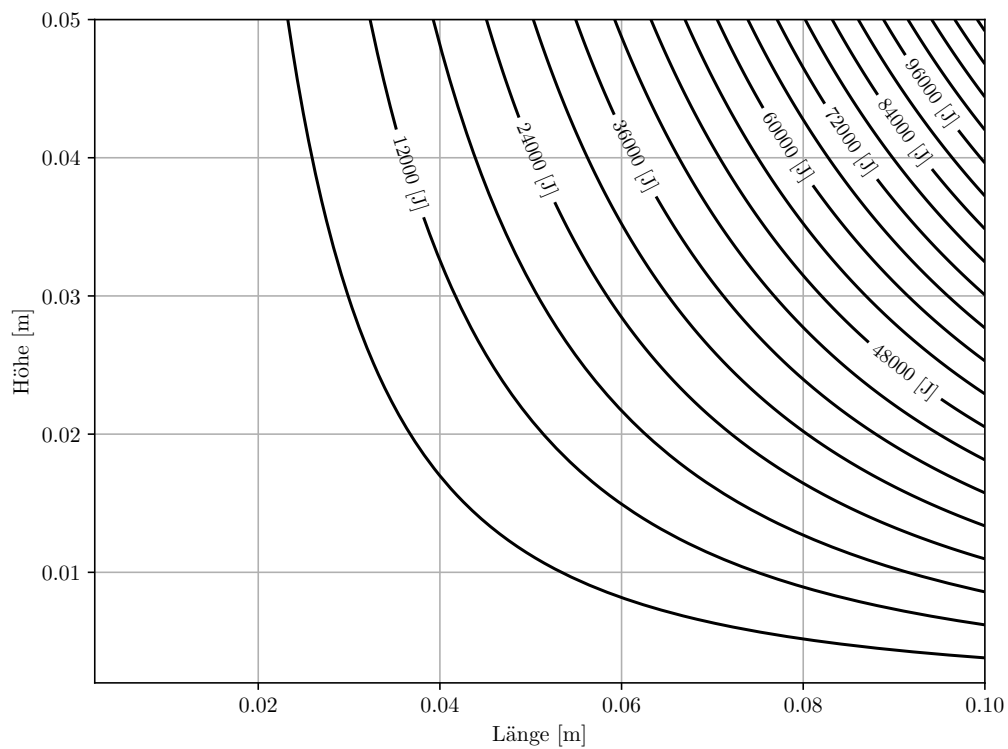
3 Methodik

3.1 PCM

Hier Steht was zu PCM



(a) PCM Masse



(b) PCM Wärmeaufnahme

Abbildung 3.1: PCM Auslegung

3.2 Radiator

Hier steht was zu Radiatoren.

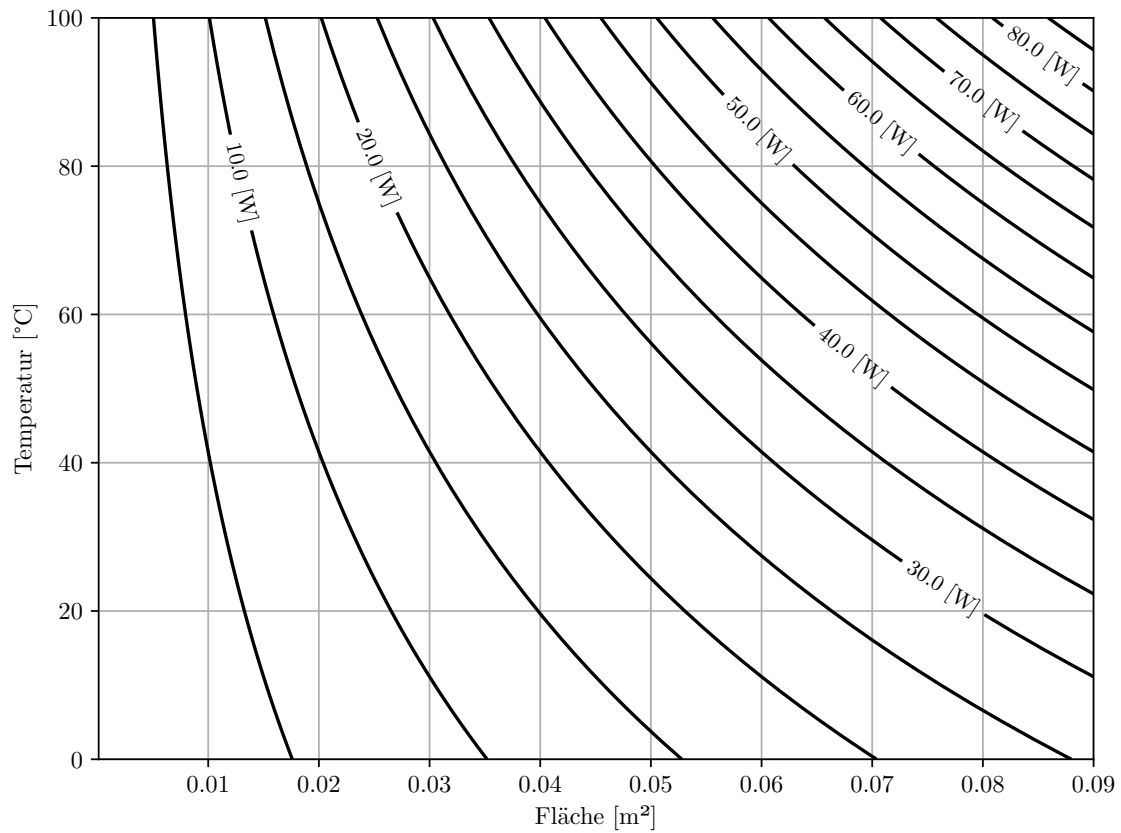
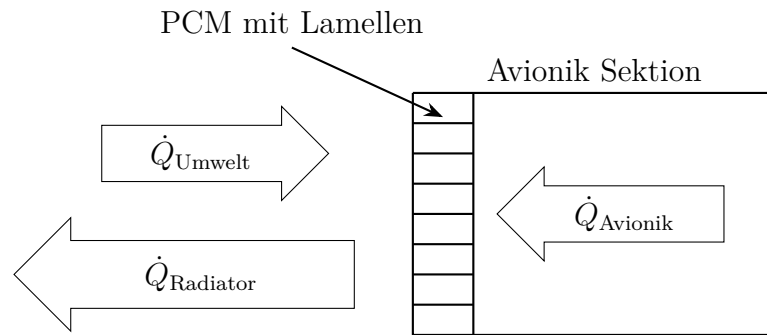


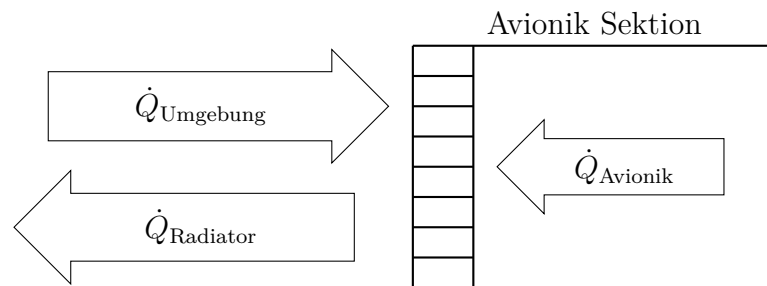
Abbildung 3.2: Radiator Leistung nach Fläche und Temperatur

3.3 PCM Radiator Hybrid

Eine Hybridlösung wird auch in erwägung gezogen. Hierbei soll die Masse durch nutzung eines Radiators minimiert werden, wobei wegen aerodynamischer Aufheizung für kurze Zeit ein PCM gebraucht wird.



$\dot{Q}_{\text{Radiator}} \geq \dot{Q}_{\text{Umwelt}} + \dot{Q}_{\text{Avionik}}$ In diesem Fall reicht die Leistung des Radiators, um die Avionik auf Betriebstemperatur zu halten.



$\dot{Q}_{\text{Radiator}} < \dot{Q}_{\text{Umwelt}} + \dot{Q}_{\text{Avionik}}$ Hier reicht die Leistung des Radiators nicht mehr aus, resultierend schmilzt das PCM und nimmt somit überschüssige Wärme auf.

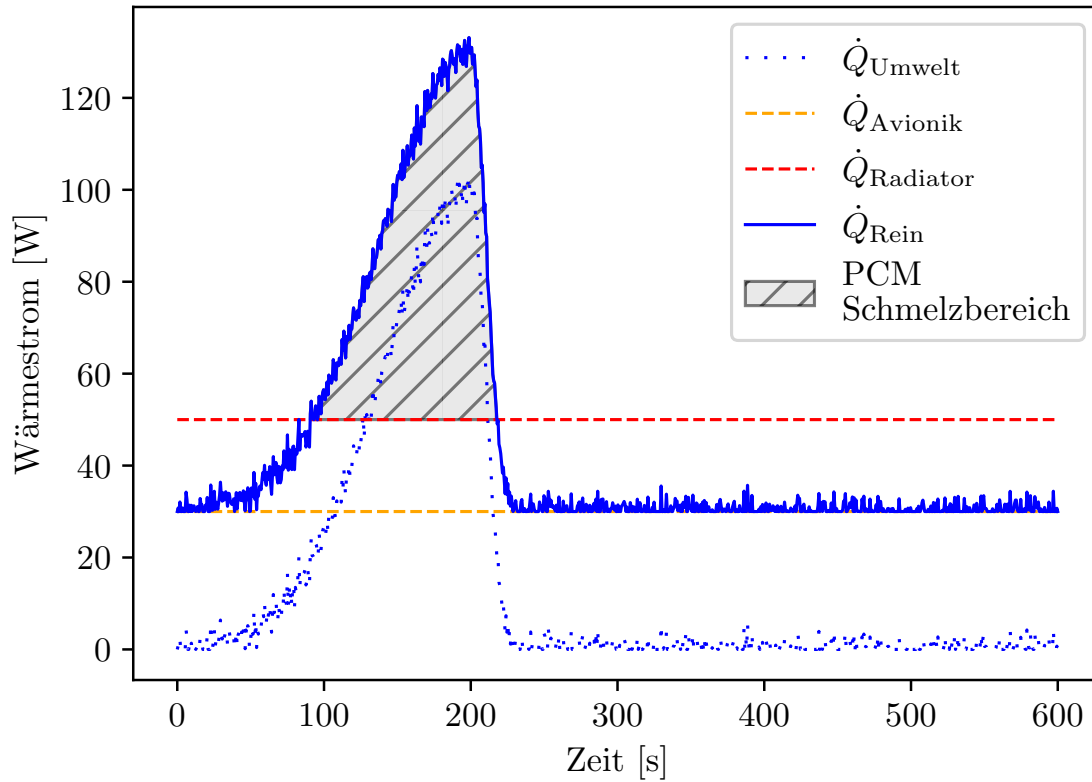
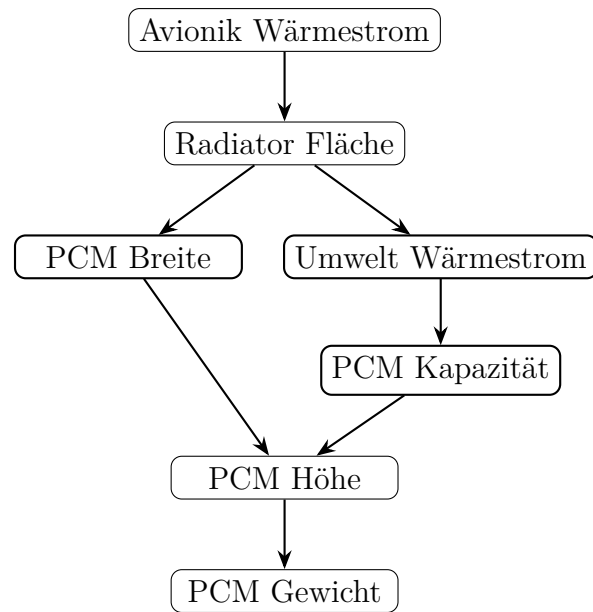


Abbildung 3.3: PCM Wärmestrom während Flug



4 Ergebnisse

Ein paar Ergebnisse ...

5 Discussion and conclusions

5.1 Discussion about including pictures

Bild 1 - Abbildung 5.1 ist ein Plot. Dieser wurde mit pgfplot erzeugt. Alternativ können Matlabplots mit folgendem Befehl skaliert werden:

```
xlabel( 'label_name', 'FontSize', 14)
width = 10; % Breite des Plots in cm
height = 8; % Hoehe des Plots in cm
set(gcf, 'Units', 'centimeters', 'Position', [0, 0, 10, 8], ...
    'PaperUnits', 'centimeters', 'PaperSize', [21, 29.7])
% PaperSize entspricht einer DIN A4 Seite
print( 'Velocity', '-dpng', '-r600')
% Erstellt ein png mit ausreichender Aufloesung
```

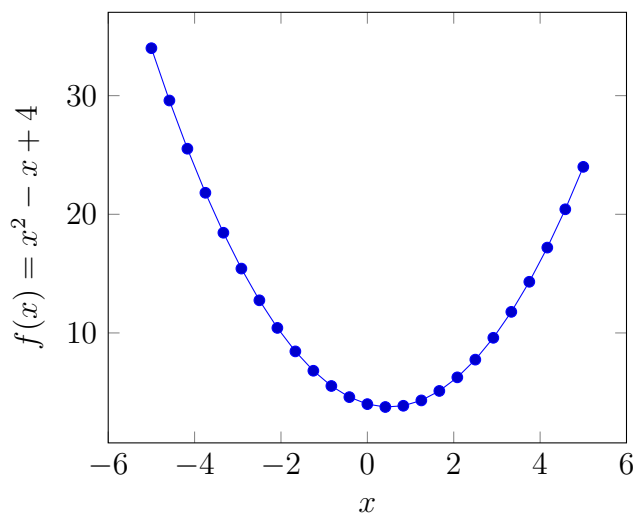


Abbildung 5.1: Dies ist die detaillierte Bildunterschrift die so ausführlich ist, dass man den Plot/ Skizze versteht.

So können Bilder unterschiedlichen Formats in Latex einbinden. Nachfolgend finden Sie eine Auswahl unterschiedlicher Formate und deren spezifischer Einbindung. Bitte beachten Sie dabei immer:

- Bei Abbildungen gehört die Beschreibung darunter
- Die Achsenbeschriftung sollte die gleich Schriftgröße haben wie der Text

Bild 2 - in diesem Fall wurde lediglich eine PNG-Datei eingeladen. Diese besitzt einerseits eine schlechte Auflösung, andererseits wirkt die unterschiedliche Schriftgröße der Achsenbeschriftung im Dokument sehr unschön. Sollten Bilddateien eingeladen werden, achten Sie bitte darauf, dass diese eine ausreichende Auflösung besitzen.

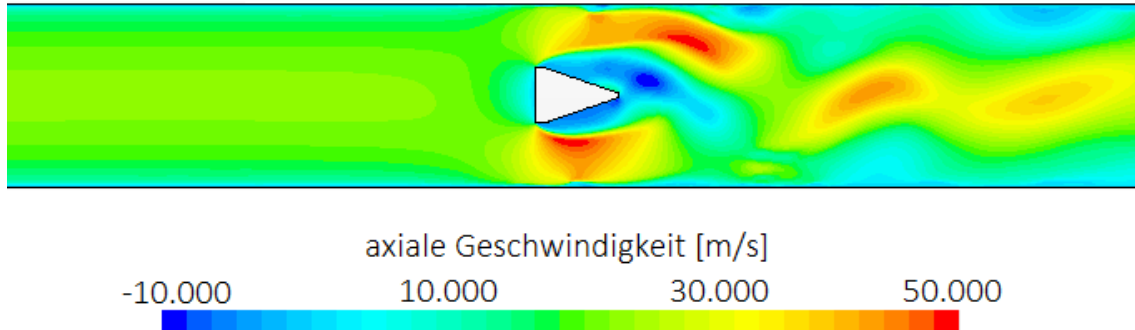


Abbildung 5.2: Verteilung der axialen Geschwindigkeit um den Staukörper zu einem zufälligen Zeitpunkt

Bild 3 - Hier wurde eine Datei im eps-Format eingeladen. Diese Variante ist veraltet und stellt die ursprüngliche Darstellung von Vektorgrafiken dar. Eine Vektorgrafik ist eine Computergrafik, die aus grafischen Primitiven wie Linien, Kreisen, Polygonen oder allgemeinen Kurven (Splines) zusammengesetzt ist. Meist sind mit Vektorgrafiken Darstellungen gemeint, deren Primitive sich zweidimensional in der Ebene beschreiben lassen.

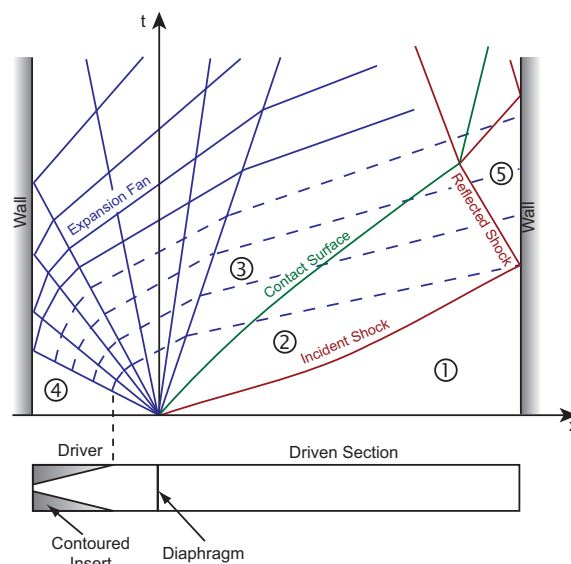


Abbildung 5.3: Shock tube wave-diagram (x,t -diagram).

Bild 4 - Einbindung einer SVG-Grafik, erstellt in Inkscape, durch Abspeichern im „PDF_tex-Format“. Diese stellt ebenfalls eine Vektorgrafik dar. Das besondere an Vektorgrafiken: Hier kann herangezoomt werden, ohne dass sich Verluste in der Auflösung des Bildes ergeben:

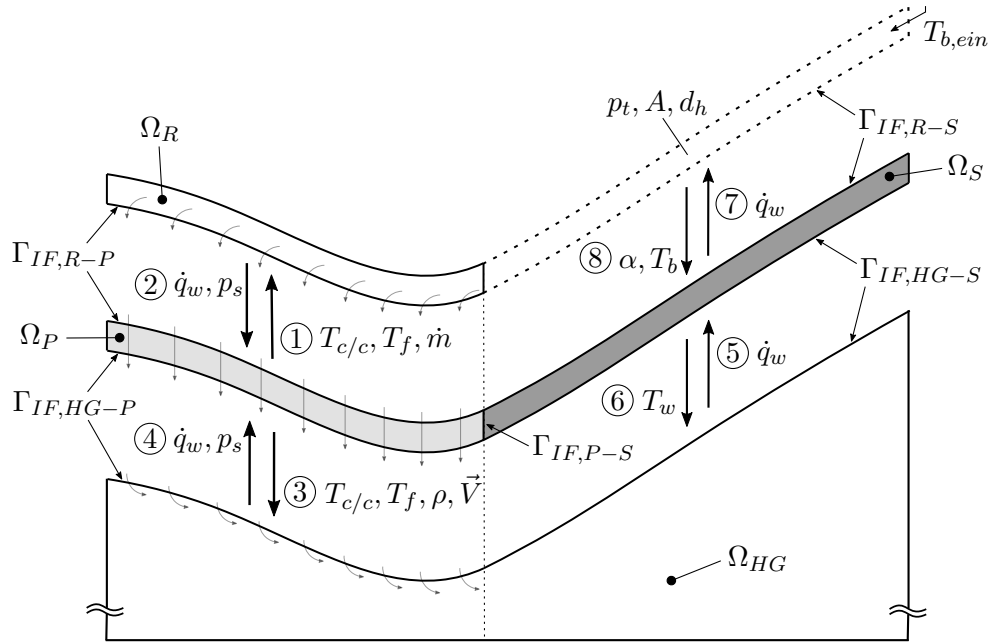


Abbildung 5.4: Schematische Darstellung der externen Kopplung beim 3-Domain-Modell zwischen Heißgasströmung, poröser und nicht poröser Wand sowie Kühlgasströmung [3]

Bild 5 - Diese Grafik wurde mit Tikz und pgfplots erstellt und ist ebenfalls eine Vektorgraphic. Hierbei werden berechnete Datenpunkte in eine definierte Grafik eingeladen und dargestellt.

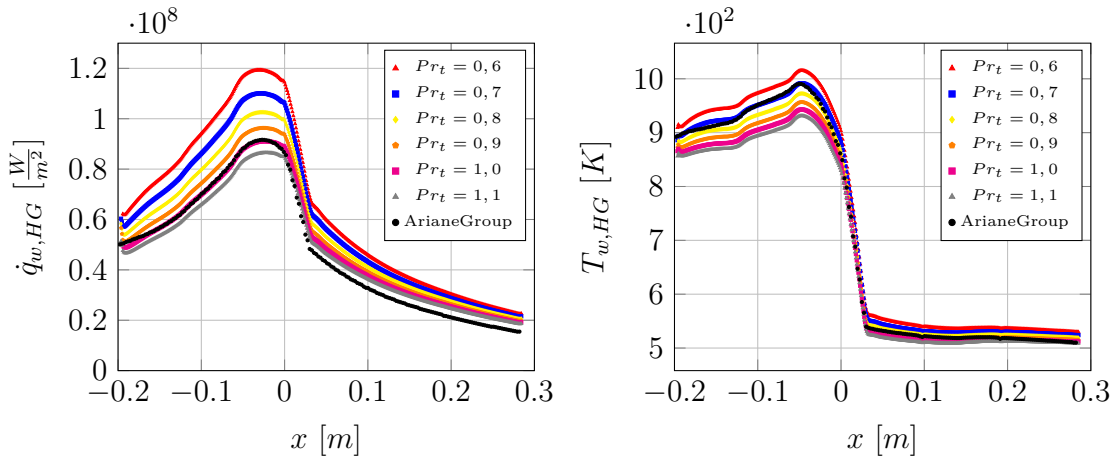
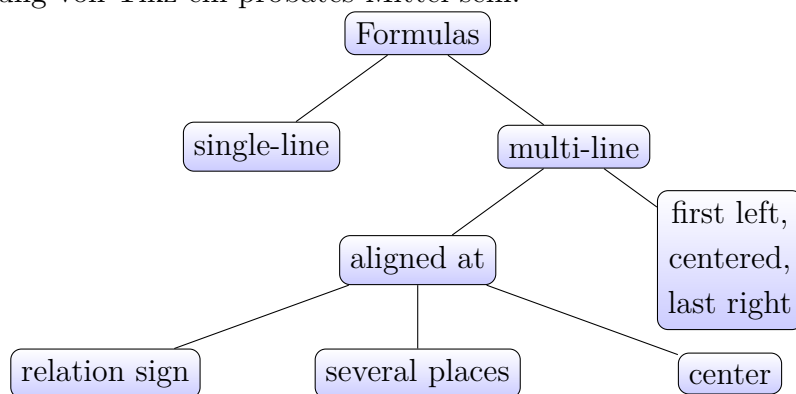


Abbildung 5.5: Vergleich von Wandwärmestromdichte $\dot{q}_{w,HG}$ (links) und Wandtemperatur $T_{w,HG}$ (rechts) an der Heißgasseite mit Daten von ArianeGroup für verschiedene turbulente Prandtl-Zahlen Pr_t . [3]

Die Abbildungen 5.4 und 5.5 sind Vektorgrafiken. In diesen wird die Schriftart automatisch angepasst. Dies sind die favorisierten Darstellungsweisen.

5.2 Ausblick

Um schematische Darstellungen und Flussdiagramme zu zeichnen, kann die Verwendung von Tikz ein probates Mittel sein.



6 Zusammenfassung und Ausblick

Beispielliteraturverweise:

1. Fachzeitschrift
2. Internetquelle
3. Buch
4. Vorlesungsskript

Anmerkung: Es gibt verschiedene Referenzierungsstile

Literaturverzeichnis

- [1] S. Hickel, T. Kempe, and N. A. Adams. Implicit large-eddy simulation applied to turbulent channel flow with periodic constrictions. *Theoret. Comput. Fluid Dynamics*, 22(3):227–242, 2008. [3](#)
- [2] T. Indinger. *Einfluss eines positiven Druckgradienten auf turbulente Grenzschichten an glatten und gerillten Oberflächen*. PhD thesis, TU München, 2005. [3](#)
- [3] P. Pfannes. *Numerisch gekoppelte Simulation einer Brennkammer mit neuartigen Kühlkonzepten*. ITLR, Universität Stuttgart, Master thesis Vol. 75, 2018. [V](#), [13](#)
- [4] J. D. Teresco, K. Devine, and J. E. Flaherty. Partitioning and dynamic load balancing for the numerical solution of partial differential equations. In *Numerical Solution of Partial Differential Equations on Parallel Computers*. Springer-Verlag, 2005. [3](#)
- [5] B. Weigand, J. Köhler, and J. von Wolfersdorf. *Thermodynamik kompakt*. Springer, 2nd edition, 2010. [3](#)
- [6] Wilcox, D.C. *Turbulence Modeling for CFD*. DCW Industries, 2006. [3](#)

Appendix

Appendix A: bla

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Appendix B: bla

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis.

Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.