

**Bachelorarbeit**

# **Modellprädiktive Regelung eines keramischen Receivers für Solartürme**

**Markus Tobias Geschonneck**  
**Matr.Nr.: 11131469**

Köln, den xxx

Ich versichere, die von mir vorgelegte Arbeit selbstständig verfasst zu haben. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Arbeiten anderer oder der Verfasserin/des Verfassers selbst entnommen sind, habe ich als entnommen kenntlich gemacht. Sämtliche Quellen und Hilfsmittel, die ich für die Arbeit benutzt habe, sind angegeben. Die Arbeit hat mit gleichem Inhalt bzw. in wesentlichen Teilen noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.

Markus Tobias Geschonneck

Köln, den xxx

Unterschrift: \_\_\_\_\_

Erstprüfer:	Dr. Chong Dae Kim
Zweitprüfer:	M. Sc. David Zanger
Angemeldet am	<Datum der Ausgabe des Themas>
Eingereicht am:	<Datum der Abgabe>

# Danksagung

Wenn man diesen Textabschnitt nicht haben will, kann man ihn wie alle anderen Abschnitte einfach in der `main.tex` auskommentieren. Kommentare fügt man dabei über das `%` Symbol ein.



# Abstract

Dies soll eine Vorlage für den Einstieg in LaTeX darstellen. Notwendig für die Nutzung dieser ist VSCode mit den entsprechenden Einstellungen in der settings.json, Strawberry Pearl sowie MikTeX.

Generell ist das Hauptdokument die Main.tex. Die ist die einzige Datei, die letztlich ausgeführt wird. Alle anderen Dateien sollten in diese Datei eingebunden werden.

In der Documentclass in der Main.tex sowie in der Packages.tex entscheidet sich das Layout des Berichts. In der Misc.tex werden Informationen für die Titelseite hinzugefügt. Es ist sehr empfehlenswert für jedes Kapitel eine neue \*.tex Datei im Ordner „ch“ hinzuzufügen. Das Ergebnis der Kompilierung zeigt immer die Main.pdf.

Schreibt man einfach nur In VSCode in eine neue Zeile wird in der entstehenden PDF einfach in derselben Zeile weiter geschrieben. Dennoch ist es sehr nützlich in neue Zeilen zu schreiben, sodass nachträglich zu korrigierende Sätze nicht in ewig langen Passagen untergehen.

Vor diesem Satz wurde nicht nur eine neue Zeile in VSCode eingefügt, sondern auch ein Doppel-Backslash „\\“ ans Ende der letzten Zeile gestellt. Dadurch entsteht eine neue Zeile ohne Abstand zum vorigen Abschnitt.

Lässt man eine Zeile in VSCode leer, entsteht ein wie oben gezeigter Abstand zwischen den verschiedenen Sätzen.

Lässt man eine Leerzeile und fügt sogar noch ein Doppel-Backslash „\\“ ans Ende des vorangestellten Abschnittes, so entsteht dieser Textabstand.

Gerade zu Beginn eines Kapitels oder Abschnittes hilft manchmal der „\noindent“-Befehl um das Einrücken zu Beginn einer Passage zu verhindern.



# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	IX
<b>Tabellenverzeichnis</b>	XI
<b>Formelverzeichnis</b>	XIII
<b>Abkürzungs- und Symbolverzeichnis</b>	XV
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation	1
1.2 Zielsetzung	1
1.3 Struktur der Arbeit	1
<b>2 Stand der Technik</b>	<b>3</b>
2.1 Solartechnik	3
2.1.1 Solartürme	3
2.1.2 Receiver	3
2.1.3 Weitere Kraftwerkskomponenten	3
2.2 Modellprädiktive Regelung	3
2.2.1 Solver	3
2.2.2 Robuste MPC	4
2.3 Zielpunktregelung	4
2.4 Nowcasting-Systeme zur Wettervorhersage	4
2.5 Neuronale Netze	4
<b>3 Ausgangszustand der Modellbildung</b>	<b>5</b>
3.1 Thermodynamisches Modell	5
3.2 Vorstellung genutzter Frameworks	5
<b>4 Reglerentwurf</b>	<b>7</b>
4.1 Anpassung des bestehenden Modells	7

4.1.1	Implementierung der Lüftungs-Dynamik . . . . .	7
4.1.2	Implementierung der Heliostaten als Stellgrößen . . . . .	7
4.2	Regelgrößen . . . . .	7
4.3	Stell- und Messgrößen . . . . .	7
4.4	Auslegung des Modellprädiktiven Reglers . . . . .	8
5	Analyse der Modellprädiktiven Regelung . . . . .	9
5.1	Repräsentative Wolkenfälle . . . . .	9
5.2	Einfluss der Wolkengröße . . . . .	9
5.3	Einfluss der Wolkengeschwindigkeit . . . . .	9
5.4	Einfluss der Lichtdurchlässigkeit . . . . .	10
5.5	Einfluss der Wolkenrichtung . . . . .	10
6	Zusammenfassung und Fazit . . . . .	11
7	Weitere Forschung / Further Works . . . . .	13
	<b>Literaturverzeichnis</b> . . . . .	15
A	Anhang . . . . .	XVII



# Abbildungsverzeichnis

A.1	Beispielbild normale Ausrichtung . . . . .	XVII
A.2	Beispielbild normale Ausrichtung . . . . .	XVII



# Tabellenverzeichnis



# Formelverzeichnis



# Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

## Abkürzungen

Symbol	Bedeutung
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
TH	Technische Hochschule

## Lateinische Symbole

Symbol	Bedeutung	Einheit
$l$	Länge	$m$
$y_{\text{ref}}$	Referenzmesswert	$W/m^2$
$U_{\text{th}}$	Thermoelektrische Spannung	$V$



## Griechische Symbole

Symbol	Bedeutung	Einheit
$\alpha$	Azimuth Winkel	°
$\sigma$	Standardabweichung	$W/m^2$



# 1 Einleitung

Paar einleitende Worte.

## 1.1 Motivation

Motivation, siehe Davids Masterarbeit, siehe Gall Diss.

## 1.2 Zielsetzung

Zielsetzung, siehe Zielsetzung an Kim und auf Bachelorarbeit Einreichung. Außerdem siehe David Ziele was die Simulationen angeht:

- Wie viel besser ist der MPC, wenn er von den Wolken weiß?
- Wo sind zu jedem Szenario die Grenzen? Also wie viel % darf die MPC Vorhersage vor der eigentlichen Simulation abweichen?

Außerdem hat David schon hier seine Quelle drin, wie man einen Controller auslegt. [1, S. 23-25] [2] Wohin mit diesem Inhalt?

## 1.3 Struktur der Arbeit

Hier die Struktur hin.



## **2 Stand der Technik**

Hier wird der Stand der Technik eingeleitet.

### **2.1 Solartechnik**

Alle Themen-relevanten solartechnischen Unterkapitel.

#### **2.1.1 Solartürme**

Was gibt es bereits, was sind aktuelle Herausforderungen? Wie groß ist der Anteil am EE Mix? Auf verschiedene Standorte eingehen etc.

#### **2.1.2 Receiver**

Eingehen was für verschiedene Receiver es gibt und dass es sich bei diesem um einen keramischen Receiver handelt. Was sind die Vor- und Nachteile dieses Receivers? Was sind die Temperaturbedingten Grenzen unseres Receivers?

#### **2.1.3 Weitere Kraftwerkskomponenten**

Weitere relevante Komponenten wie den Kraftwerksprozess oder den Wärmespeicher sowie besonders auch die Heliostate. Heliostate als eigene Überschrift?

### **2.2 Modellprädiktive Regelung**

Wichtigste Begriffe und Funktionalität von MPC einbringen. Auf jeden Fall auch entsprechende Abbildungen rein. Hier soll schon das Alleinstellungsmerkmal der Prädiktion mit rein.

#### **2.2.1 Solver**

Hier ggf. den verwendeten Solver bzw. das Buch dazu eingehen? [3]

### 2.2.2 Robuste MPC

Was unterscheidet robuster von „normaler“ MPC? Was sind Vor- und Nachteile? Warum wird es hier nicht benutzt?

## 2.3 Zielpunktregelung

Was macht die Zielpunktregelung die wir nutzen aus? Was unterscheidet Sie von anderen Zielpunktregelungen? Warum haben wir uns dafür entschieden (Stellgrößenreduktion bei Garcia)? Warum haben wir uns für die Überlagerung der Flussdichtekarten entschieden?

## 2.4 Nowcasting-Systeme zur Wettervorhersage

Welches Nowcasting-System verwendet das DLR und warum? Wie ist dort generell der Stand der Technik? Was ist die Auflösung bzw. andere Besonderheiten dieses Nowcasting-Systems?

## 2.5 Neuronale Netze

Was macht ein Neuronales Netzwerk aus und wie funktioniert es? Warum brauchen wir es, was machen wir damit (Extrahierte Funktion differenzierbar)? Wie sieht ein Trainingsprozess aus und warum hilft uns das?

## **3 Ausgangszustand der Modellbildung**

Bisschen drauf eingehen was jetzt als nächstes kommt.

### **3.1 Thermodynamisches Modell**

Hier kommt die Beschreibung nach dem SolarPaces Vortrag von Kevin hin. Inklusive Gall Diss.

### **3.2 Vorstellung genutzter Frameworks**

Kurze Beschreibung bezüglich do-mpc und casadi.





## 4 Reglerentwurf

Hier kommt alles über das Buch von Davids Einleitung rein, zumindest mal die Unterpunkte von 2-4 ganz explizit.

### 4.1 Anpassung des bestehenden Modells

Alles was ich an dem Modell (Standard-Modell mit nur einem Absorber-Cup) verändert habe.

#### 4.1.1 Implementierung der Lüftungs-Dynamik

Mit dem Parameter Fitting und so. Grafik wo die Messkurve und die Simulationskurve übereinander liegen. Erklärung der PT2-Werte und deren Herleitung?

#### 4.1.2 Implementierung der Heliostaten als Stellgrößen

Alles bezüglich der Heliostaten und deren Gruppierung (Warum 20x20, wegen NowCasting) sowie der Fluxmap 12x10 Verteilung. Erläutern, dass direktes Mapping auf die Flussdichte nicht funktionieren kann? Daher Berechnung der Flussdichteverteilung über gruppierte Zielpunktregelung, Wolken können am einfachsten implementiert werden.

### 4.2 Regelgrößen

Das sind die dann wohl die States aber siehe Davids Literatur aus seiner Einleitung. Warum sind diese Größen die Regelgrößen?

### 4.3 Stell- und Messgrößen

Auch hier siehe Davids Buch. Warum entscheiden wir uns für die entsprechenden Größen als Mess- und Stellgrößen?

### **4.4 Auslegung des Modellprädiktiven Reglers**

Hier wird dann letztlich genau alles über den Regler und die Objective sowie die Constraints und alles was an Einstellungen getroffen wurde und warum dargestellt inkl. Schrittweite und Prädiktionshorizont.

# 5 Analyse der Modellprädiktiven Regelung

Hier sollen alle Ergebnisse hin. Es soll aus der Zielsetzung klar werden, dass das das Kapitel ist, auf das es ankommt und dass hier alle meine Ergebnisse stehen. Die Ergebnisse müssen dann am Ende aber natürlich auch das aussagen, was ich aussagen möchte und vernünftig analysiert und ausgewertet werden.

## 5.1 Repräsentative Wolkenfälle

Was ist das und warum ist das wichtig? Für welche habe ich mich entschieden, um was genau zu analysieren?

Es muss immer klar sein, ob der MPC gerade von den Ergebnissen weiß oder nicht weiß. Ggf. nochmal aufzeigen, warum die Einstellungen so sind wie sie sind und wann eine Regelung als gescheitert gilt? Es muss am Ende rausgestellt werden, was die Grenzen der MPC sind und wie viel besser es war, im Vergleich zu einer unwissenden Regelung.

## 5.2 Einfluss der Wolkengröße

Hier soll rein welchen Einfluss die Wolkengröße hat. Wie präzise kann der MPC dennoch die Temperatur halten?

## 5.3 Einfluss der Wolkengeschwindigkeit

Spätestens hier soll erläutert werden, welche Wolkengeschwindigkeiten in der Realität auftreten und wie sie mit in unser System reinspielen. Was macht die höhere Wolkengeschwindigkeit? Warum ist die hohe Geschwindigkeit gefährlich? Weil der MPC gegebenenfalls gar nicht weiß, dass gerade das ganze Feld wieder sonnig ist aufgrund seiner Sample Time!

### 5.4 Einfluss der Lichtdurchlässigkeit

Hier soll rauskommen, dass die Lichtdurchlässigkeit, wenn der MPC davon weiß natürlich dazu beiträgt wie gut die Temperatur gehalten werden kann, aber auch dass in Kombination mit schnellen Wolken dieser Wert sehr wichtig ist, damit die Grenzen eingehalten werden. Wie falsch darf die Vorhersage prozentual je nach Wolkengeschwindigkeit sein, damit es keine Probleme gibt?

### 5.5 Einfluss der Wolkenrichtung

Hier muss rauskommen, warum sich das System anders verhält, wenn die Wolken in andere Richtungen ziehen (Weil die vorderen Heliostate natürlich deutlich mehr Einfluss auf das Ergebnis haben).

## **6 Zusammenfassung und Fazit**

Hier soll nochmal ganz klar die Zielsetzung beantwortet werden und es darf keine Frage offen bleiben. Sehr wichtig, gerade für Kim.



## 7 Weitere Forschung / Further Works

Mindestens hier muss auf weitere Forschung zu diesem Thema eingegangen werden:

- Robuste Regelung
- Weitere Testszenarien
- Verbesserter Solver oder direkt anderer Ansatz (immer nur eine Iteration, wie heißt der Fachbegriff?)





# Literaturverzeichnis

- [1] M. Reuter and S. Zacher, *Regelungstechnik für Ingenieure: Analyse, Simulation und Entwurf von Regelkreisen*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, 12., korrigierte und erweiterte auflage ed., 2008.
- [2] ifm electronic, *Sensorik, Systemkommunikation und Steuerungstechnik für die Automatisierung*. 2004.
- [3] O. Föllinger, U. Konigorski, B. Lohmann, G. Roppenecker, and A. Trächtler, *Regelungstechnik: Einführung in die Methoden und ihre Anwendung*. Lehrbuch Studium, Berlin and Offenbach: VDE Verlag GmbH, 12., überarbeitete auflage ed., 2016.



# A Anhang

Hier kommen die grossen Bilder, Diagramme und Grafiken rein, welche im Text den Lesefluss stören würden. Dabei ist trotzdem auf den korrekten Verweis zu achten:

z.B.: „siehe Anhang Bild A.1“

Die Leserichtung der Grafiken muss entweder von links nach rechts oder, bei ganzseitig-gedrehten Grafiken, von unten nach oben sein (vgl. Bild A.1 und Bild A.2):

BEISPIEL

**Abbildung A.1:** Beispielbild normale Ausrichtung

BEISPIEL

**Abbildung A.2:** Beispielbild normale Ausrichtung

