



FRIEDRICH-SCHILLER-
UNIVERSITÄT
JENA

Investigating the Evolution of the COVID-19 Pandemic in Germany Using Physics-Informed Neural Networks

Bachelor Thesis in Computer Science

submitted by

Phillip Rothenbeck

born February 22, 2002 in Eckernförde

written at

Computer Vision Group

Department of Mathematics and Computer Science

Friedrich-Schiller-Universität Jena

Supervisor: Prof. Dr.-Ing. Joachim Denzler

Advisor: Niklas Penzel, Sai Karthikeya Vemuri

Started: May 1, 2024

Finished: September 14, 2024

Eigenständigkeitserklärung

1. Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit - bei einer Gruppenarbeit die von mir zu verantwortenden und entsprechend gekennzeichneten Teile - selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Ich trage die Verantwortung für die Qualität des Textes sowie die Auswahl aller Inhalte und habe sichergestellt, dass Informationen und Argumente mit geeigneten wissenschaftlichen Quellen belegt bzw. gestützt werden. Die aus fremden oder auch eigenen, älteren Quellen wörtlich oder sinngemäß übernommenen Textstellen, Gedankengänge, Konzepte, Grafiken etc. in meinen Ausführungen habe ich als solche eindeutig gekennzeichnet und mit vollständigen Verweisen auf die jeweilige Quelle versehen. Alle weiteren Inhalte dieser Arbeit ohne entsprechende Verweise stammen im urheberrechtlichen Sinn von mir.
2. Ich weiß, dass meine Eigenständigkeitserklärung sich auch auf nicht zitierfähige, generierende KI-Anwendungen (nachfolgend „generierende KI“) bezieht. Mir ist bewusst, dass die Verwendung von generierender KI unzulässig ist, sofern nicht deren Nutzung von der prüfenden Person ausdrücklich freigegeben wurde (Freigabeerklärung). Sofern eine Zulassung als Hilfsmittel erfolgt ist, versichere ich, dass ich mich generierender KI lediglich als Hilfsmittel bedient habe und in der vorliegenden Arbeit mein gestalterischer Einfluss deutlich überwiegt. Ich verantworte die Übernahme der von mir verwendeten maschinell generierten Passagen in meiner Arbeit vollumfänglich selbst. Für den Fall der Freigabe der Verwendung von generierender KI für die Erstellung der vorliegenden Arbeit wird eine Verwendung in einem gesonderten Anhang meiner Arbeit kenntlich gemacht. Dieser Anhang enthält eine Angabe oder eine detaillierte Dokumentation über die Verwendung generierender KI gemäß den Vorgaben in der Freigabeerklärung der prüfenden Person. Die Details zum Gebrauch generierender KI bei der Erstellung der vorliegenden Arbeit inklusive Art, Ziel und Umfang der Verwendung sowie die Art der Nachweispflicht habe ich der Freigabeerklärung der prüfenden Person entnommen.
3. Ich versichere des Weiteren, dass die vorliegende Arbeit bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt wurde oder in deutscher oder einer anderen Sprache als Veröffentlichung erschienen ist.
4. Mir ist bekannt, dass ein Verstoß gegen die vorbenannten Punkte prüfungsrechtliche Konsequenzen haben und insbesondere dazu führen kann, dass meine Prüfungsleistung als Täuschung und damit als mit „nicht bestanden“ bewertet werden kann. Bei mehrfachem oder schwerwiegendem Täuschungsversuch kann ich befristet oder sogar dauerhaft von der Erbringung weiterer Prüfungsleistungen in meinem Studiengang ausgeschlossen werden.
5. Die Richtlinien des Lehrstuhls für Examensarbeiten habe ich gelesen und anerkannt. Seitens des Verfassers/der Verfasserin bestehen keine Einwände, die vorliegende Examensarbeit für die öffentliche Benutzung zur Verfügung zu stellen.

Jena, den 14. September 2024

Phillip Rothenbeck

40 pages in total

1. Introduction — 5
 - 1.1. Introduction / Motivation — 3
 - 1.2. Related Work — 2
2. Background — 12
 - 2.1. Domains — 1
 - 2.2. Basics of Differential Equations — 1
 - 2.3. Pandemic Models — 3
 - i. SIR Model — 2
 - ii. reduced SIR Model — 1
 - 2.4. Multilayer Perceptron — 2
 - 2.5. Physics Informed Neural Networks — 5
 - i. General — 3
 - ii. Disease Informed Neural Networks — 2
3. Methods — 8
 - 3.1. Data Preprocessing — 3
 - i. RKI Data — 2
 - ii. Recovery Queue — 1
 - 3.2. SIR — 3
 - 3.3. r SIR — 2
4. Experiments — 10
 - 4.1. SIR Model — 5
 - i. Setup — 1
 - ii. Results — 4
 - 4.2. reduced SIR Model — 5
 - i. Setup — 1
 - ii. Results — 4
5. Conclusions — 3
6. Further Work

Überblick

German version of the abstract.

Hello, here is some text without a meaning. This text should show what a printed text will look like at this place. If you read this text, you will get no information. Really? Is there no information? Is there a difference between this text and some nonsense like “Huardest gefburn”? Kjift – not at all! A blind text like this gives you information about the selected font, how the letters are written and an impression of the look. This text should contain all letters of the alphabet and it should be written in of the original language. There is no need for special content, but the length of words should match the language.

Abstract

English version of the abstract.

Hello, here is some text without a meaning. This text should show what a printed text will look like at this place. If you read this text, you will get no information. Really? Is there no information? Is there a difference between this text and some nonsense like “Huardest gefburn”? Kjift – not at all! A blind text like this gives you information about the selected font, how the letters are written and an impression of the look. This text should contain all letters of the alphabet and it should be written in of the original language. There is no need for special content, but the length of words should match the language.

Contents

1	Introduction	1
1.1	Related work	1
2	Theoretical background	3
2.1	Domain Mathematics and Functions	3
2.2	Basics of Differential Equations	3
2.3	Pandemic Models	4
2.3.1	SIR Model	5
2.3.2	reduced SIR Model	5
2.4	Multilayer Perceptron	5
2.5	Physics Informed Neural Networks	5
2.5.1	Disease Informed Neural Networks	5
3	Methods	7
3.1	Data Preprocessing	7
3.1.1	RKI Data	7
3.1.2	Recovery Queue	7
3.2	PINN for the SIR Model	7
3.3	PINN for the reduced SIR Model	7
4	Experiments	9
4.1	SIR Model	9
4.1.1	Setup	9
4.1.2	Results	9
4.2	Reduced SIR Model	9
4.2.1	Setup	9
4.2.2	Results	9
5	Conclusions	11
5.1	Further Work	11

Chapter 1

Introduction

1.1 Related work

Chapter 2

Theoretical background

This chapter is set to introduce the theoretical knowledge on which the work in this thesis is founded on. First we talk about domain mathematics and differential equations. In these sections both the explanations and the approach are strongly based on the book on analysis by W. Rudin[Rud07] and the book about ordinary differential equations by M. Tenenbaum and H. Pollard.

2.1 Domain Mathematics and Functions

When looking at problems from a mathematical it is possible to describe it by putting it into a system. Then the base A function f assigns each element x of the set A to an element of the set B .

$$f : A \rightarrow B \tag{2.1}$$

In this case A is called the domain, while B is called the codomain. For further explanations we refer to f as:

$$f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R} \tag{2.2}$$

Functions are able to describe the condition of a system given certain parameters.

2.2 Basics of Differential Equations

In the real world states of system are under constant change. While functions are able to show the state of a system for a certain set of parameters that are living in the domain space, they can only indirectly give information about the change of the system under different sets of input. This shows the need of a way to retrieve the

information of change from a function. One way would be taking the rate of change across a certain interval $[a, b] \subseteq \mathbb{R}$ of the domain of a function f , by calculating

$$m = \frac{f(b) - f(a)}{a - b} \quad (2.3)$$

m is the average rate of change across the interval $[a, b]$. Since in most cases we want to find the rate of change in a specific spot and the average will not be sufficient. For this reason instead of looking across the whole interval we single out every $x \in [a, b]$. We narrow the interval down to be infinitesimal small and then calculate the average rate of change

$$\frac{df}{dx} = \lim_{t \rightarrow x} \frac{f(t) - f(x)}{t - x} \quad (2.4)$$

where this value exists. $\frac{df}{dx}$ is the rate of the change or derivative of the function f undergoes in respect of its parameter x . This now is able to give information about the rate of change for a specific set of parameters. By re-iterating this process it is possible for us to calculate the rate of the rate of change as well, which is called the derivative of the second order. Equation 2.4 shows how to theoretically come from the function to its assigned derivative, but in many cases (applications) differential equations are built from semantics and logics. For this thesis we would like to concentrate on ordinary differential equations, which have only one input parameter. In our case this is t the point of time.

For illustrating the functionality of a derivative we will look upon the specific problem. For this we

2.3 Pandemic Models

- modelation in a mathematical sense - what do pandemic models have to do?

2.3.1 SIR Model

2.3.2 reduced SIR Model

2.4 Multilayer Perceptron

2.5 Physics Informed Neural Networks

2.5.1 Disease Informed Neural Networks

Chapter 3

Methods

3.1 Data Preprocessing

3.1.1 RKI Data

3.1.2 Recovery Queue

3.2 PINN for the SIR Model

3.3 PINN for the reduced SIR Model

Chapter 4

Experiments

4.1 SIR Model

4.1.1 Setup

4.1.2 Results

4.2 Reduced SIR Model

4.2.1 Setup

4.2.2 Results

Chapter 5

Conclusions

5.1 Further Work

Bibliography

[Rud07] RUDIN, Walter: *Analysis*. Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2007