



Hochschule für angewandte Wissenschaften Coburg  
Fakultät Elektrotechnik und Informatik

Studiengang: Bachelor Informatik

Einsatz von maschinellem Lernen zur  
Echtzeit-Überwachung der psychischen  
Gesundheit durch Analyse physiologischer  
Marker mittels alltäglicher tragbarer Sensoren

Keck, Paul

Abgabe der Arbeit: 20.04.2024

Betreut durch:

Prof. Dr. Stephan Streuber, Hochschule Coburg

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Theoretischer Rahmen Stress</b>	<b>4</b>
2.1	Moderne Interpretation . . . . .	4
2.2	Physiologische Marker für Stress . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Wearables</b>	<b>6</b>
3.1	Technologische Grundlagen Wearables . . . . .	6
3.1.1	Photoplethysmographie . . . . .	7
3.1.2	Elektrokardiogramm . . . . .	7
3.1.3	Weiter relevante Sensorik . . . . .	7
3.2	Limitationen von Wearables . . . . .	8
3.3	Physiologische Marker . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Theoretischer Rahmen Wearables</b>	<b>8</b>
4.1	Überblick Wearables . . . . .	8
4.2	Verbaute Sensoren für obige physiologische Marker . . . . .	8
<b>5</b>	<b>Bisherige Ansätze Stressvorhersage ML</b>	<b>9</b>
<b>6</b>	<b>Überführung auf Wearable Dataset</b>	<b>9</b>
<b>7</b>	<b>Diskussion und Implikationen</b>	<b>9</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>10</b>
	<b>Ehrenwörtliche Erklärung</b>	<b>12</b>

# 1 Einführung

In unserer modernen, schnelllebigen Welt ist Stress zu einer allgegenwärtigen Erscheinung geworden. Angesichts der wachsenden Anforderungen im beruflichen und privaten Leben, einem Rückgang des Wirtschaftswachstums in der westlichen Welt und angespannten geopolitischen Verhältnissen erleben viele Menschen regelmäßig hohe Stresslevel, die zunehmend mit langfristigen gesundheitlichen Problemen, insbesondere Depressionen, in Verbindung gebracht werden [WLS08] [WP01].

Die Bürde psychischer Störungen war bereits vor der Covid-19-Pandemie ein prägendes Thema in der Gesellschaft, doch durch die Pandemie nahm das Ausmaß dieser Probleme noch weiter zu. Die Auswirkungen der globalen COVID-19-Pandemie haben weltweit zu einer signifikanten Zunahme von Depressionen und Angststörungen geführt. Laut einer Studie wurden während der Pandemie erhebliche Einflüsse von täglichen SARS-CoV-2-Infektionsraten auf die Prävalenz von schweren depressiven Störungen und Angststörungen beobachtet. Global gesehen stieg die Anzahl der Fälle von schweren depressiven Störungen um zusätzliche 53,2 Millionen (eine Zunahme von 27,6%), was einer Gesamtprävalenz von 3152,9 Fällen pro 100.000 Einwohner entspricht, und die Fälle von Angststörungen stiegen um 76,2 Millionen (eine Zunahme von 25,6%), was einer Gesamtprävalenz von 4802,4 Fällen pro 100.000 Einwohner entspricht [SMHS<sup>+</sup>21].

In dieser Zeit wachsender Herausforderungen für die psychische Gesundheit sind innovative Ansätze zur Überwachung und Früherkennung von Stresssymptomen gefragter denn je. Die grundlegenden Arbeiten von Wissenschaftlern wie Walter B. Cannon und Hans Selye haben gezeigt, dass Stress nicht nur durch subjektive Erfahrungen gekennzeichnet ist, sondern sich auch durch messbare physiologische Veränderungen auszeichnet. Cannon beschrieb die „fight-or-flight“-Reaktion, während Selye die Stressreaktion und das General Adaptation Syndrome entwickelte, die erklären, wie Stress die körperliche Gesundheit beeinflusst [Can15] [Sel36].

Prognosen zufolge sollen im Jahr 2028 allein über sechshundert Millionen Wearables, wie Smartwatches und Fitness-Tracker, ausgeliefert werden [LU24]. Diese Geräte sind bereits heute in der Lage, entscheidende physiologische Marker wie Herzfrequenz, Schlafmuster und Aktivitätslevel zu erfassen, die Schlüsselindikatoren für die Erkennung von Stress sind. Trotz der Fähigkeit, wichtige physiologische Daten zu sammeln, konzentriert sich die Forschung bisher hauptsächlich auf klinische Sensoren. Die alltäglichen Wearables, die einen kontinuierlichen Zugang zu physiologischen Daten bieten, sind jedoch in der breiten Bevölkerung bereits weit verbreitet und könnten eine Schlüsselrolle bei der Früherkennung und dem Management von Stress spielen.

In dieser Arbeit wird untersucht, wie maschinelles Lernen eingesetzt werden kann, um physiologische Daten aus der in alltäglichen Wearables verbauten Sensorik zur Klassifizierung von

Stresszuständen zu nutzen. Dazu wird zuerst ein Überblick über die Definitionen von Stress und insbesondere dessen messbare physiologische Auswirkungen.... TOOOODDDDDDOOOOO!!!

## 2 Theoretischer Rahmen Stress

"The most significant feature of these bodily reactions in pain and in the presence of emotion provoking objects is that they are of the nature of reflexes" [Can15]. Dieses Erkenntnis bildet das Fundament von Walter B. Cannons Forschungen, die zeigen, dass der Körper in als stressvoll wahrgenommenen Situationen, wie bei Schmerz und Hunger, Adrenalin ausschüttet. Cannon prägte den Begriff der "Homöostase", der den Prozess beschreibt, durch den der Körper ein inneres Gleichgewicht trotz externer Störungen aufrechterhält. Seine Arbeiten legen den Schwerpunkt auf die physiologischen Reflexe, bekannt als die "Fight-or-Flight"-Reaktion, die eine zentrale Rolle in der Aufrechterhaltung dieser Homöostase spielen.

Hans Selye, der in den 1930er Jahren den Begriff "Stress" wissenschaftlich prägte, erweiterte dieses Konzept durch die Einführung des General Adaptation Syndroms (GAS). Er definierte Stress als eine unspezifische Antwort des Körpers auf jegliche Art von Reizen, ob positiv oder negativ. Das GAS beschreibt, wie der Körper in drei Phasen auf Stressoren reagiert:

Alarmreaktion: Der Körper reagiert sofort auf einen Stressor, indem er Adrenalin freisetzt und den von Cannon beschriebenen "Fight-or-Flight"-Reflex auslöst, um die Homöostase schnell wiederherzustellen. Resistenz-Phase: Bei anhaltendem Stress versucht der Körper, sich anzupassen und die Homöostase durch Regulation physiologischer und psychologischer Systeme aufrechtzuerhalten. Erschöpfungs-Phase: Gelingt es dem Körper nicht, sich anzupassen, führt dies zu einer Erschöpfung, die gesundheitliche Schäden bis hin zum Tod zur Folge haben kann [Sel36].

### 2.1 Moderne Interpretation

Aufbauend auf diesen grundlegenden Konzepten entwickelt sich die Definition von Stress aber durchaus mit wachsendem Forschungsstand weiter. In neueren Konzepten, wie von David S. Goldstein und anderen Wissenschaftlern entwickelt, wird Stress als eine bewusste oder unbewusste Bedrohung der Homöostase angesehen. Dieser Ansatz erkennt an, dass die Reaktion des Körpers auf Stress durchaus spezifisch sein kann, je nachdem, welche Herausforderung der Homöostase vorliegt, wie das Individuum den Stressor wahrnimmt und wie gut es sich in der Lage sieht, mit ihm umzugehen.

Goldstein hebt hervor, dass neben Cannons "sympathoadrenerges System", welches sich Allgemein auf das Zusammenspiel des Sympathischen Nervensystems und der Nebenniere zur

wiederherstellung der Homöostase durch hormonelle Regulierung bezieht, zur Aufrechterhaltung der Homöostase auch das Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-System (HPA-Achse) eine zentrale Rolle in der Stressreaktion spielt. Beide Systeme sind aktiv an der Regulation und Anpassung bei Stress beteiligt und tragen dazu bei, eine neue Stabilität zu erreichen, die als "Allostase" bezeichnet wird.

Goldstein benutzt eine Analogie zu einem Heizkreislauf, um Allostase zu erklären: Ein Mensch stellt in einem Thermostat eine Soll-Temperatur ein; dieses Thermostat erfasst die aktuelle Raumtemperatur und aktiviert die Heizung, wenn die Temperatur unter den Sollwert fällt. Ähnlich reguliert der Körper durch Allostase die "innere Temperatur" oder physiologische Sollwerte, indem er nach Bedarf Anpassungen vornimmt, um Stabilität durch Veränderung zu erreichen.

Allostase beschreibt die Fähigkeit, Stabilität durch Veränderung zu erhalten, wobei "allostatische Last" die Kosten dieser Anpassungen misst. Diese Last kann, besonders bei langfristigem oder intensivem Stress, zu negativen gesundheitlichen Auswirkungen führen. Goldstein führt aus, dass zum Beispiel eine chronische Erhöhung des Blutdrucks, die zunächst dazu dient, die Durchblutung des Gehirns sicherzustellen, langfristig zu Gefäßschädigungen und daraus resultierenden Krankheiten wie Schlaganfall oder Herzinfarkt führen kann. [GK07]

Das moderne Verständnis von Stress betont somit nicht nur die Akutreaktion des Körpers, sondern auch die langfristigen Auswirkungen der Stressbewältigung und die Bedeutung der Anpassungsmechanismen, die über die unmittelbare "Fight-or-Flight"-Reaktion hinausgehen.

### 2.2 Physiologische Marker für Stress

Wie bereits erleuchtet wurde, versucht der Körper verallgemeinert über zwei Systeme mit Stress umzugehen; der HPA-Achse und dem sympathoadrenergen System. Das sympathoadrenerge System bewirkt eine Ausschüttung von Adrenalin sowie Noradrenalin, welche in kurzer Zeit physiologische Anpassung wie einer Erhöhung des Blutdrucks bewirken, wohingegen die HPA-Achse etwas langsamer über Anregung von Cortisolproduktion fungiert. [KJ23]

Da sich diese Arbeit darauf fokussiert, Stress anhand messbarer physiologischer Merkmale zu klassifizieren, widmen wir einen etwas ausführlicheren Blick auf folgendes Paper von Ernst:

Die Studie umfasst einen multimodalen Ansatz um physiologische Marker in akuten Stresssituationen aufzuzeichnen und auszuwerten. In fünfundsechzig gesunden Teilnehmern wurden mithilfe des Mannheim Multicomponent Stress Test (MMST), einen verschiedenen Komponenten umfassenden Test, darunter kognitive Aufgaben und sensorische Stimulation, eine kontrollierte, akute Stressreaktion erzeugt. Während des Test wurden mit Hilfe einer Kombination von Biosensorik wie Elektrokardiogramm (EKG) und Photoplethysmographie (PPG) und

Selbstevaluierungsbögen sechzig verschiedene physiologische Marker aufgezeichnet, darunter Herzratenvariabilität, Hautleitfähigkeit, Atmungsrate und mehr. Weiterhin wurden über unter anderem Speichelpollen die Konzentrationen von Cortisol gemessen, um eine Aktivierung der HPA-Achse nachweisen zu können.

Diese wurden einer statistischen Untersuchung unterzogen, um die Differenzen zwischen diesem Markern im Ruhezustand im Vergleich zum Stresszustand aufzuzeigen. Demzufolge wurde unter anderem eine Reduktion der Herzratenvariabilität; herausgerechnet als Root Mean Square of Successive Differences (RMSSD) aus den EKG Messungen, von im Schnitt  $46.0 \pm 18.2$  Millisekunden auf  $37.3 \pm 16.1$  Millisekunden, was einer Differenz des Durchschnittes von 19 Prozent bedeutet, festgestellt. [ESP<sup>+</sup>23]

Insgesamt deckten sich die Ergebnisse weitgehend mit Erkenntnissen anderer Literatur sowie mit den Standardisierten Selbstevaluierungsbögen, womit ein wissenschaftlich zuverlässiger Rahmen an bedeutenden physiologischen Markern zur Erkennung von Stress geschaffen wurde, an dem wir uns in dieser Arbeit noch weitergehend bedienen werden.

## 3 Wearables

Wie eingangs bereits erwähnt ist der Markt für Wearables gigantisch und soll im Jahr 2028 eine Auslieferungszahl von sechshundert Millionen Stück erreichen. Insbesondere Smartwatches und Fitnesstracker erfreuen sich in Europa einer steigenden Popularität, wonach laut einer Statista Umfrage in Deutschland im Jahre 2023 bereits fünfunddreißig Prozent ein solches nutzen (Vergleich 2021: neunzehn Prozent). [Boc23]

Insbesondere diese eröffnen breite Möglichkeiten zur Erfassung von Stress, da viele dieser Wearables nicht invasive Biosensorik verbaut haben, und sowieso schon alltäglich getragen werden. Um eingrenzend tiefer auf die technologischen Merkmale eingehen zu können, fokussieren wir uns auf die Apple Watch, welche nach geschätzten Absatzzahlen aus dem Jahr 2020 mit über 33 Millionen Stück eine große Marktdominanz zeigte. [Boc21]

### 3.1 Technologische Grundlagen Wearables

Es wird kurz die für die Erfassung von physiologischen Stressmarker wichtigste Sensorik der Apple Watch beleuchtet. Dabei werden speziell auf die PPG und das EKG eingegangen, da diese genutzt werden um die obig erwähnte wichtige Herzratenvariabilität (HRV) zu berechnen.

### 3.1.1 Photoplethysmographie

PPG ist eine kostengünstige Methode um zahlreiche Marker des Herz-Kreislaufes zu erfassen, indem ein Lichtsignal, meist im Infrarot-Bereich, entsendet wird und mittels Photodioden gemessen wird, wie viel dieses Lichts vom mikrovaskulären Blut absorbiert wurde. Da sich das Blutvolumen im Laufe des Herzschlagszyklus ändert, kann bei wiederholten Messung die Herzfrequenz sowie andere daraus resultierende Werte errechnet werden. [All07].

Ein solcher Sensor ist in jeder Apple Watch verbaut, welche Stand jetzt auf den Markt kam. Die Apple Watch benutzt Grüne-LEDs, welches mehrer hundert male pro Sekunde leuchten, wobei das reflektierte Licht von Photodioden gemessen wird. Weiterhin besitzt der PPG Sensor der Apple Watch einen Hintergrundoperationsmodus, welcher für durchgängige Messungen im Hintergrund mit Infrarot fungiert.

Tatsächlich benutzt jede Apple Watch die PPG Messungen zur Ermittlung der HRV, sowie zur Erfassung der Herzfrequenz und der Blutsauerstoffsättigung.[App23]

### 3.1.2 Elektrokardiogramm

Das Herz fungiert auf der Basis von rhythmischen An- und Entspannen der Vorhöfe und Herzkammern. Dieser Vorgang wird durch elektrische Potentiale angestossen, welche mit Hilfe eines EKGs gemessen werden können.

Seit der Einführung der Apple Watch Series 4 ist ein EKG Bestandteil der Sensorausstattung. Dieses erfasst die elektrischen Signale der Herzmuskeln durch spezielle Sensoren an der Rückseite der Uhr und der digitalen Krone, welche der Nutzer mit der nicht dominanten Hand für circa 30 Sekunden berühren muss und so den Stromkreis schließt.

### 3.1.3 Weiter relevante Sensorik

Die Apple Watch verfügt noch über weiter Sensorik, welche zur Klassifizierung von Stress nützliche Daten liefern kann. Ein Mikrofon kann benutzt werden um Änderungen an der Stimmlage festzustellen, wohingegen das verbaute 3-Achsen Gyroskop und der Beschleunigungssensor benutzt werden können um Körperbewegungen wahrzunehmen. Óscar Martínez Mozos et al. benutzen diese Metriken in Kombination mit EKG und PPG Daten klinischer Sensoren um mittels des Klassifizierungsalgorithmus Support Vector Machine (SVM) und dem Metalgorithmus Adaptive Boosting (AdaBoost) binär zwischen nicht-Stress und Stress zu klassifizieren. [MSA<sup>+</sup>17]

Auch wenn diese Sensorik keine Daten zu den physiologischen Markern ermittelt, auf welche sich in dieser Arbeit fokussiert wird, behalten wird diese für supplementäre Features im Hinterkopf.

### 3.2 Limitationen von Wearables

Eine Limitation der Apple Watch könnte die Messgenauigkeit der verbauten Sensorik sein. Hernando et al. validierten in einer Studie die Genauigkeit der aus den RR-Intervalle, welche die Apple Watch mithilfe der PPG aufzeichnet, herausgerechneten Herzfrequenz sowie HRV. Zwanzig Teilnehmer trugen ein Validierungsgerät und eine Apple Watch 4 während einer 5-minütigen Ruhephase und einer 5-minütigen Phase, in welcher mittels des Stroop Test leichter Stress induziert wurde.

Die Studie ergab nach Synchronisation der Signale und statistischer Auswertung eine sehr gute Übereinstimmung jeweils in den rohen RR-Intervallen, als auch in der Herzfrequenz und der HRV. Gleichzeitig wurde aber auch festgestellt, dass die Apple Watch vermehrt RR-Intervalle nicht identifizieren konnte, was der Autor auf eine Nichterkennung des PPG-Pulses zurückführt, was bei nicht richtigem Sitz beziehungsweise vor allem auch viel Bewegung passieren kann.

Dies beeinträchtigt die Messergebnisse nicht erwähnenswert, gilt aber im Auge behalten zu werden, da verinzelt fehlende RR-Intervalle insbesondere die HRV, welche beispielsweise aus der Standardabweichung der Abstände zwischen RR-Intervallen berechnet werden kann, beeinflussen. [HRS<sup>+</sup>18]

### 3.3 Physiologische Marker

h

## 4 Theoretischer Rahmen Wearables

h

### 4.1 Überblick Wearables

h

### 4.2 Verbaute Sensoren für obige physiologische Marker

h



## **5 Bisherige Ansätze Stressvorhersage ML**

h

## **6 Überführung auf Wearable Dataset**

h

## **7 Diskussion und Implikationen**

h

## Literaturverzeichnis

- [All07] ALLEN, John: Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement. In: *Physiological Measurement* 28 (2007), 04, S. R1–39. <http://dx.doi.org/10.1088/0967-3334/28/3/R01>. – DOI 10.1088/0967–3334/28/3/R01
- [App23] Apple: *Your heart rate. What it means, and where on Apple Watch you'll find it.* <https://support.apple.com/en-us/HT204666>, 2023. – Zugriff am 20. April 2024
- [Boc21] BOCKSCH, R.: *Apple Watch - mit Abstand Nr. 1.* Digitales Bild. <https://de.statista.com/infografik/15047/geschaetzter-weltweiter-smartwatch-absatz/>. Version: 3 2021. – Zugriff am 20. April 2024
- [Boc23] BOCKSCH, R.: *Nutzung von Wearables in Europa deutlich gestiegen.* Digitales Bild. <https://de.statista.com/infografik/31378/nutzung-von-wearables-in-europa/>. Version: 12 2023. – Zugriff am 20. April 2024
- [Can15] CANNON, Walter B.: *Bodily Changes in Pain, Hunger, Fear and Rage: An Account of Recent Researches into the Function of Emotional Excitement.* New York : D. Appleton and Company, 1915
- [ESP<sup>+</sup>23] ERNST, Hannes ; SCHERPF, Matthieu ; PANNASCH, Sebastian ; HELMERT, Jens R. ; MALBERG, Hagen ; SCHMIDT, Martin: Assessment of the human response to acute mental stress-An overview and a multimodal study. In: *PLoS ONE* 18 (2023), Nr. 11, e0294069. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0294069>. – DOI 10.1371/journal.pone.0294069. – ISSN 1932–6203
- [GK07] GOLDSTEIN, David S. ; KOPIN, Irwin J.: Evolution of concepts of stress. In: *Stress* 10 (2007), Nr. 2, 109–120. <http://dx.doi.org/10.1080/10253890701288935>. – DOI 10.1080/10253890701288935. – PMID: 17514579
- [HRS<sup>+</sup>18] HERNANDO, David ; ROCA, Surya ; SANCHO, Jorge ; ALESANCO, Álvaro ; BAILÓN, Raquel: Validation of the Apple Watch for Heart Rate Variability Measurements during Relax and Mental Stress in Healthy Subjects. In: *Sensors* 18 (2018), Nr. 8. <http://dx.doi.org/10.3390/s18082619>. – DOI 10.3390/s18082619. – ISSN 1424–8220
- [KJ23] KAISER, Marianne ; JAILLARDON, Laetitia: Pathogenesis of the crosstalk between reproductive function and stress in animals-part 1: Hypothalamo-pituitary-adrenal axis, sympatho-adrenomedullary system and kisspeptin. In: *Reproduction in Domestic Animals* 58 Suppl 2 (2023), 176-183. <http://dx.doi.org/10.1111/rda.14444>. – DOI 10.1111/rda.14444. – ISSN 1439–0531

- [LU24] LLAMAS, Ramon T. ; UBRANI, Jitesh: *Wearable Devices Market Insights*. International Data Corporation (IDC), 2024. – Accessed: 13.04.2024
- [MSA<sup>+</sup>17] MOZOS, Óscar M. ; SANDULESCU, Virginia ; ANDREWS, Sally ; ELLIS, David ; BELLOTTO, Nicola ; DOBRESCU, Radu ; FERRÁNDEZ, J. M.: Stress Detection Using Wearable Physiological and Sociometric Sensors. In: *International journal of neural systems* 27 2 (2017), 1650041. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:2934562>
- [Sel36] SELYE, Hans: A Syndrome produced by Diverse Nocuous Agents. In: *Nature* 138 (1936), 7, Nr. 3479, 32. <http://dx.doi.org/10.1038/138032a0>. – DOI 10.1038/138032a0
- [SMHS<sup>+</sup>21] SANTOMAURO, Damian F. ; MANTILLA HERRERA, Ana M. ; SHADID, Jamileh ; ZHENG, Peng ; ASHBAUGH, Charlie ; PIGOTT, David M. ; ABBAFATI, Cristiana ; ADOLPH, Christopher ; AMLAG, Joanne O. ; ARAVKIN, Aleksandr Y. u. a.: Global prevalence and burden of depressive and anxiety disorders in 204 countries and territories in 2020 due to the COVID-19 pandemic. In: *The Lancet* 398 (2021), Nr. 10312, 1700–1712. [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)02143-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(21)02143-7). – DOI 10.1016/S0140-6736(21)02143-7
- [WLSD08] WANG, Jianli ; LESAGE, Alain ; SCHMITZ, N ; DRAPEAU, Aline: The relationship between work stress and mental disorders in men and women: Findings from a population-based study. In: *Journal of epidemiology and community health* 62 (2008), 02, S. 42–7. <http://dx.doi.org/10.1136/jech.2006.050591>. – DOI 10.1136/jech.2006.050591
- [WP01] WANG, Jianli ; PATTEN, Scott: Perceived work stress and major depression in the Canadian employed population, 20-49 years old. In: *Journal of occupational health psychology* 6 (2001), 11, S. 283–9. <http://dx.doi.org/10.1037//1076-8998.6.4.283>. – DOI 10.1037//1076-8998.6.4.283

**Persönliche Angaben / Personal details**

Keck, Paul

Familienname, Vorname / Surnames, given names

06.05.2002

Geburtsdatum / Date of birth

Bachelor Informatik

Studiengang / Course of study

00767721

Matrikelnummer / Student registration number

**Eigenständigkeitserklärung*****Declaration***

Hiermit versichere ich, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst und noch nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt habe. Ich habe keine anderen als die angegebenen Quellen oder Hilfsmittel benutzt. Die Arbeit wurde weder in Gänze noch in Teilen von einer Künstlichen Intelligenz (KI) erstellt, es sei denn, die zur Erstellung genutzte KI wurde von der zuständigen Prüfungskommission oder der bzw. dem zuständigen Prüfenden ausdrücklich zugelassen. Wörtliche oder sinngemäße Zitate habe ich als solche gekennzeichnet.

Es ist mir bekannt, dass im Rahmen der Beurteilung meiner Arbeit Plagiatserkennungssoftware zum Einsatz kommen kann.

Es ist mir bewusst, dass Verstöße gegen Prüfungsvorschriften zur Bewertung meiner Arbeit mit „nicht ausreichend“ und in schweren Fällen auch zum Verlust sämtlicher Wiederholungsversuche führen können.

*I hereby certify that I have written this thesis independently and have not submitted it elsewhere for examination purposes. I have not used any sources or aids other than those indicated. The work has not been created in whole or in part by an artificial intelligence (AI), unless the AI used to create the work has been expressly approved by the responsible examination board or examiner. I have marked verbatim quotations or quotations in the spirit of the text as such.*

*I am aware that plagiarism detection software may be used in the assessment of my work.*

*I am aware that violations of examination regulations can lead to my work being graded as "unsatisfactory" and, in serious cases, to the loss of all repeat attempts.*

Unterschrift Studierende/Studierender / Signature student

<ORT>, den 20.04.2024

Ort, Datum / Place, date