

Universität Leipzig
Medizinische Fakultät
Institut für Medizinische Informatik, Statistik und Epidemiologie

UNÜBERWACHTES TRAINING EINES
VORTRAINIERTEN SPRACHMODELLES AUF
LITERATUR ÜBER DAS MANAGEMENT VON
KRANKENHAUSINFORMATIONSSYSTEMEN

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Master of Science
(M. Sc.)

vorgelegt von

Paul Keller
Studiengang Medizininformatik M. Sc.

Leipzig, den 31.09.2023

AUTOR:

Paul Keller

Geboren am 23.05.1998 in Leipzig, Deutschland

TITEL:

*Unüberwachtes Training eines vortrainierten Sprachmodelles auf Literatur
über das Management von Krankenhausinformationssystemen*

INSTITUT:

Institut für Medizinische Informatik, Statistik und Epidemiologie
Medizinische Fakultät Universität Leipzig

REFERENT:

Prof. Dr. Alfred Winter

BETREUER:

Konrad Höffner

ABSTRAKT

DANKSAGUNG

INHALTSVERZEICHNIS

Abstrakt	iii
1 Einleitung	1
1.1 Gegenstand	1
1.2 Problemstellung	2
1.3 Motivation	3
1.4 Zielsetzung	4
1.5 Bezug zu ethischen Leitlinien der GMDS	4
1.6 Aufgabenstellung	6
1.7 Aufbau der Arbeit	7
2 Grundlagen	9
3 Stand der Forschung	11
4 Lösungsansatz	13
5 Ausführung der Lösung	15
6 Ergebnisse	17
7 Diskussion	19
Zusammenfassung	21
 Literatur	 23

Appendix

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

TABELLENVERZEICHNIS

AKRONYME

QAS	Question Answering System
GPT	General Pretrained Transformer
GMDS	Deutsche Gesellschaft für Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie e.V.

EINLEITUNG

1.1 GEGENSTAND

Eine effektive und effiziente Informationsbeschaffung bildet einen fundamentalen Bestandteil einer qualitativ hochwertigen klinischen Praxis in der Medizin. Bei jeder medizinischen Handlung werden große Mengen an Informationen genutzt und erzeugt, sei es als Grundlage für eine Diagnose oder zur Dokumentation des Behandlungsprozesses. Die strukturierte und klassifizierte Speicherung und Wiedergabe dieser Informationen ist ein kontinuierlicher Entwicklungsprozess und Gegenstand aktueller Forschung.

Die Digitalisierung der Medizin ist ein weites Themenfeld mit stetig wachsendem Bedarf. Die Medizinische Informatik beschreibt dabei „die Wissenschaft der systematischen Erschließung, Verwaltung, Aufbewahrung, Verarbeitung und Bereitstellung von Daten, Informationen und Wissen in der Medizin und im Gesundheitswesen. [...]“¹. Vor diesem Hintergrund gewinnt die Entwicklung und Implementierung effizienter Informationssysteme und Technologien zur Unterstützung der klinischen Praxis zunehmend an Bedeutung.

In der Lehre wird die Praxis der Medizinischen Informatik durch umfangreiche Literatur, z.B. in Winter u. a. (2023), unterstützt. Zur Strukturierung von Fachbegriffen und Rollen des Informationsmanagements im Krankenhaus existiert die Ontologie SNIK (Jahn u. a., 2014), ein semantisches Netz, kategorisiert in der Metaontologie SNIK und Teil des Projekts SNIK des Instituts für Medizinische Informatik, Statistik und Epidemiologie² an der Universität Leipzig. Die Nutzung dieses Netzes ermöglicht eine systematische Darstellung von Rollen, Entitäten und Funktionen des Informationsmanagements im Krankenhaus, unabhängig von der Definition der zugrunde liegenden Literaturquellen.

Die Bedeutung von maschinellem Lernen, Deep Learning und Sprachmodellen ist in der heutigen Zeit sehr präsent. Diese Technologien werden in vielen Bereichen, von der Automobilindustrie bis hin zu

¹ Deutsche Gesellschaft für Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie e.V. (GMDs) (2023). Definition Medizinische Informatik.
<https://www.gmds.de/aktivitaeten/medizinische-informatik/> (abgerufen am 07. 03. 2023).

² Institut für Medizinische Informatik, Statistik und Epidemiologie.
<https://www.imise.uni-leipzig.de/Institut> (besucht am 09. 03. 2023).

medizinischen Anwendungen, eingesetzt, um neue Methoden der Informationsgewinnung und -verarbeitung zu ermöglichen. Ein Bericht von Schneider, Vöpel und Weis (2018) zeigt, dass maschinelles Lernen und künstliche Intelligenz in den nächsten Jahren immer häufiger eingesetzt werden und ihr Einfluss auf Wirtschaft und Gesellschaft kontinuierlich zunehmen wird. Sprachmodelle wie das General Pre-trained Transformer (GPT)-3-Modell von OpenAI (Brown u. a., 2020) können dazu beitragen, Texte in verschiedenen Sprachen automatisch zu übersetzen und sogar kreatives Schreiben zu ermöglichen. Deep Learning, das auf künstlichen neuronalen Netzen basiert, ermöglicht eine noch tiefere und komplexere Verarbeitung von Daten. In der Medizin kann Deep Learning beispielsweise zur Diagnose von Krankheiten und zur Analyse medizinischer Bilder eingesetzt werden (Esteva, Kuprel, Novoa u. a., 2017).

1.2 PROBLEMSTELLUNG

Informationssysteme im Gesundheitswesen sind hochkomplex, abhängig von den Anforderungen der jeweiligen Organisation und unterliegen einer ständigen Weiterentwicklung. Die Anforderungen sind vielfältig und umfassen beispielsweise die Speicherung und Verarbeitung von Patientendaten, die Dokumentation von Behandlungsprozessen, die Unterstützung von Diagnose- und Therapieprozessen sowie die Unterstützung von Forschungsaktivitäten. Ausgehend von diesen Anforderungen gibt es eine Fülle von Literatur, die sich mit der Definition, Implementierung und Wartung von Informationssystemen im Gesundheitswesen befasst. Das Buch *Health Information Systems* von Winter u. a. beschäftigt sich umfassend mit diesen Anforderungen und ist im März 2023 in der 3. Auflage erschienen (Winter u. a., 2023).

Das Management von Informationssystemen ist eine anspruchsvolle Aufgabe, die sich nicht nur auf die Anwendung durch das Krankenhauspersonal beschränkt. Es ist auch von großer Bedeutung für Studierende, um ein besseres Verständnis der bestehenden Systeme zu erlangen, und für Wissenschaftler, um diese Systeme zu erweitern oder neue Managementmethoden zu entwerfen. Eine konkrete und konsistente Wissensbasis ist sowohl für die Anwendung als auch für Lehre und Forschung von großer Bedeutung.

Eine weitere Herausforderung bei der Auseinandersetzung mit der Literatur zu Informationssystemen ist die Komplexität der Übertragung von theoretischen Konzepten auf praktische Anwendungsfälle. Insbesondere für Studierende und Praktiker erfordert die praktische Anwendung ein tiefes Verständnis der Zusammenhänge und der Anwendbarkeit der vorgestellten Konzepte auf konkrete Arbeitsumge-

bungen. Da die verfügbare Literatur oft sehr umfangreich und ihre Definitionen fragmentiert sind, stellt die Identifikation relevanter Informationen für spezifische Problemstellungen eine weitere Herausforderung dar. Die Fragmentierung von Definitionen bezieht sich hier auf die Erläuterung eines Fachbegriffs oder Konzepts innerhalb einer Literaturquelle. Diese Definitionen werden häufig nicht zusammenfassend aufgelistet, sondern ergeben sich im Laufe der Texte und Kapitel. Dies führt dazu, dass große Teile eines Buches gelesen werden müssen, um einzelne Konzepte und ihre Beziehungen zu anderen Themen vollständig zu erfassen.

Der Umfang der Literaturquellen und die Fragmentierung bei der Definition von Fachbegriffen erschweren eine schnelle Informationsbeschaffung, insbesondere für Studierende, die grundlegende Konzepte richtig verstehen wollen.

- Problem: Schwierigkeiten bei der Informationsbeschaffung aufgrund des Umfangs von Winter u. a. (2023) und der Fragmentierung von Definitionen

1.3 MOTIVATION

Eine Strukturierung von Informationen zum Management von Krankenhausinformationssystemen ist bereits Bestandteil des Projekts SNIK (Jahn u. a., 2014; Schaaf u. a., 2015), ein semantisches Netz des Instituts für Medizinische Informatik, Statistik und Epidemiologie der Universität Leipzig. Auf Basis dieses Netzes wurden bereits verschiedene Methoden zur Informationsextraktion untersucht.

Die BeLL mit dem Titel „Question Answering on SNIK“ (Brunsch, 2022) erweiterte den Zugang zu diesem Netz durch die Verwendung natürlicher englischer Sprache. Die Ergebnisse der BeLL wurden in einem Question Answering System (QAS) QAnswer (QAnswer, 2023) umgesetzt, zeigen aber Defizite in der Erklärbarkeit und Verständlichkeit komplexerer Fragen. Im Gegensatz dazu untersuchte Omar u. a. (2023) auf einem anderen Datensatz die Leistung einer Konversations-KI (in diesem Fall ChatGPT) im Vergleich zu einer herkömmlichen, auf einem Wissensgraphen basierenden QAS (verwendet wurde $KGQA_N$). Die Ergebnisse zeigten, dass ChatGPT im Vergleich zum verwendeten $KGQA_N$ erstaunlich stabile und verständliche Antworten lieferte, jedoch bei der Ausgabe korrekter Antworten deutlich schlechter abschnitt. Hier steht zu erwarten, dass durch ein besseres Feintuning die Anzahl der falschen Antworten deutlich reduziert werden kann.

Es ist daher notwendig zu untersuchen, ob der Einsatz einer Konversations-KI die Anwendungsschwierigkeiten in QAnswer beheben kann und

ob die Wiedergabe mit niedrigem Wahrheitswert durch Feintuning verbessert werden kann.

1.4 ZIELSETZUNG

Dem in 1.2 gezeigten Problem werden folgende Ziele dieser Arbeit zugeordnet.

- Ziel Z1: Beantwortung von Fragen zu Informationssystemen im Gesundheitswesen in natürlicher Sprache durch eine Konversations-KI mit Hilfe von Winter u. a. (2023)
- Ziel Z2: Lösung einer Beispielklausur des Moduls „Architektur von Informationssystemen im Gesundheitswesen“³ mit Hilfe einer Konversations-KI. Das Ergebnis wird kein produktives System darstellen, sondern lediglich die Machbarkeit der Beantwortung von Fragen mit Hilfe einer Konversations-KI aufzeigen.

1.5 BEZUG ZU ETHISCHEN LEITLINIEN DER GMDS

Die ethischen Leitlinien der GMDS (Ahrens u. a., 2023) geben „sowohl den tragenden Gesellschaften als Institution als auch dem einzelnen Mitglied eine Orientierung, welche ethischen Forderungen in ihrem bzw. seinem jeweiligen Aufgaben- und Verantwortungsbereich relevant sein können.“⁴ Aufgeteilt in 16 Artikel werden hier verschiedene Kompetenzen und Verantwortlichkeiten definiert, unter die auch das hier beschriebene System fällt. Da die zu entwickelnde Konversations-KI (im folgenden KI genannt) Informationen über medizinisches Wissen, insbesondere über Informationssysteme im Gesundheitswesen, bereitstellt, unterliegt sie in ihrer Existenz als „Informationsbasis“ einer Vielzahl von Artikeln. Sie wirkt unterstützend in den Artikeln 1 „Auftrag“, 2 „Fachkompetenz“, 3 „Kommunikative Kompetenz“, kann aber durch unsachgemäßen Gebrauch und ihr zugrundeliegendes Wesen entgegen den Artikeln 1 „Auftrag“, 2 „Fachkompetenz“, 3 „Kommunikative Kompetenz“, 4 „Medizinethische Kompetenz“, 6 „Soziale Verantwortung“ und 13 „Forschung“ handeln.

In Artikel 1 „Auftrag“ heißt es unter anderem, dass „Die Würde des Menschen und das Persönlichkeitsrecht [...] dabei vorrangig geachtet und geschützt werden [müssen]“⁴. Dazu gehört insbesondere die „Allgemeine Erklärung der Menschenrechte“⁵, in der das „Verbot der Diskriminierung z.B. nach Geschlecht oder Rasse (Art. 2, 7)“ verankert ist und der „Schutz des (geistigen) Eigentums (Art. 17, 27)“ und

³ einem Modul des Masterstudiengangs Medizinische Informatik an der Universität Leipzig, das inhaltlich auf Winter u. a. (2023) aufbaut

⁴ Ahrens u. a. (2023)

⁵ <https://www.un.org/depts/german/menschenrechte/aemr.pdf> (abgerufen am 24.04.2023)

die „Gedanken-, Gewissens-, Religions- und Meinungsfreiheit (Art. 18, 19)“ beschrieben werden. Die von der KI zu generierenden Antworten ergeben sich aus einer Vielzahl von zuvor genutzten Datensätzen aus dem Internet, die nicht notwendigerweise diesen ethischen Leitlinien folgen. Eine inhaltliche Garantie für die Einhaltung dieser Leitlinien ist daher ohne zusätzliche Filterung der Antworten zu gestellten Fragen nicht möglich. Durch eine optimale Filterung können Antworten, die den Leitlinien widersprechen, ausgeschlossen werden. Diese Filterung ist jedoch aufgrund ihrer Komplexität sowohl in zeitlicher als auch in finanzieller Hinsicht nicht Bestandteil dieser Arbeit. Es muss daher davon ausgegangen werden, dass es durchaus Antworten geben kann, die gegen die Leitlinien verstoßen.

Artikel 1 wird durch die KI gefördert, in dem sie Medizinische Versorgungseinrichtungen durch effiziente und schnelle Informationsbeschaffung in ihren Fähigkeiten unterstützt, „ihre Leistungen qualitativ und quantitativ nachweisen, überwachen und sicherstellen [zu] können.“⁴.

Artikel 2 „Fachkompetenz“ definiert, dass das Mitglied seine „Fachkompetenz nach dem Stand der Wissenschaft und Technik erwirbt [...] und Maßnahmen zur Fehlervermeidung ergreift“⁴. Dies ist teilweise durch die KI gegeben, da die extrahierten Informationen auf dem Stand des zugrundeliegenden Buches Winter u. a. (2023) sind. Eine Fehlervermeidung ist hier jedoch nicht vorgesehen. Wie in Omar u. a. (2023) gezeigt, weist ChatGPT als GPT-Modell eine geringe Wahrheitsquote auf, wodurch die fehlerfreie Beantwortung von Fragen zwar angestrebt, aber nicht garantiert werden kann.

Artikel 3 „Kommunikative Kompetenz“ beschreibt die Fähigkeit „Recht, Interessen [und] Konventionen der verschiedenen von [dem Mitglied] seiner Arbeit Betroffenen zu verstehen und zu berücksichtigen [...] und Wissenschaftliche Erkenntnisse in verständlicher Form der Öffentlichkeit zugänglich [zu machen] [...]“⁴. Die KI unterstützt dabei den/die Fragende/n durch eine Antwort in möglicherweise verständlicherer Form der wissenschaftlichen Erkenntnisse in Winter u. a. (2023), jedoch ist hier nicht gegeben, dass die Betroffenen in der Antwort berücksichtigt oder verstanden wurden.

Artikel 4 „Medizinethische Kompetenz“ legt fest, dass das Mitglied „ethische Prinzipien der Medizin [...] bei seinem beruflichen Handeln beachtet“⁴. Zu den ethischen Prinzipien⁴ gehören auch die „Achtung vor dem Menschen zu wahren“ und die „Würde des Individuums zu schützen“. Beides kann nicht allein durch die KI gewährleistet werden und muss durch mögliche Filter ergänzt werden.

Artikel 6 „Soziale Verantwortung“ definiert die Verantwortungen des Mitglied „gesellschaftliche Auswirkungen [zu] berücksichtigen [...] [und die] Allgemeine Erklärung der Menschenrechte und ethische[n] Prinzipien der Medizin [zu beachten]“⁴. Wie bereits zu den Artikeln 1 und 4 ausgeführt, ist es der KI aufgrund der Datengrundlage nicht möglich, diesen Artikel, insbesondere die hier genannten Punkte, in ihrer Antwort zu berücksichtigen.

Artikel 13 „Forschung“ definiert, dass das Mitglied „gute Wissenschaftliche Arbeit, insbesondere Offenheit und Transparenz [und] Akzeptanz von Kritik“⁴ einhalten soll. Gute wissenschaftliche Arbeit wird weiter definiert als „die strikte Ehrlichkeit im Hinblick auf die Beiträge von Partnern, Konkurrenten, Vorgängern zu wahren [und] weder Fälschung oder Plagiate [zu] benutzen“⁴. Da die KI auf dem Inhalt eines Buches trainiert wird, in ihrer Datenbasis aber bereits eine Vielzahl von Texten, darunter auch Plagiate und Fälschungen, gelernt hat, ist es nicht möglich, die Antworten als wissenschaftliche Quelle zu verwenden, da sowohl Plagiate als auch Fälschungen ohne Annotation vorhanden sein können. Die Antworten sollten als reine Informationsextraktion und nicht als Quelle für wissenschaftliche Arbeiten betrachtet werden.

1.6 AUFGABENSTELLUNG

Die in 1.4 genannten Ziele Z_i werden durch die hier aufgeführten Aufgaben A_i gelöst.

- Aufgabe zu Ziel Z_1
 - Aufgabe A1.1: Es sollen aktuelle Sprachmodelle verglichen werden. Dabei sind die Einschränkungen der Verfügbarkeit und Verwendbarkeit zu berücksichtigen. GPT-Modelle basieren auf großen Datenmengen und enthalten mehrere Milliarden Parameter. Ein eigenes Training eines Modells würde sowohl den zeitlichen als auch den finanziellen Rahmen übersteigen, weshalb auf ein vortrainiertes Modell zurückgegriffen werden muss. Dazu muss das Modell frei verfügbar sein und unter einer Open-Source-Lizenz stehen. Außerdem muss das Modell am Rechenzentrum der Universität Leipzig geladen und trainiert werden können. Aufgrund der großen Anzahl an Parametern sind auch hier Grenzen des Arbeitsspeichers und damit der Größe des Modells gesetzt.
 - Aufgabe A1.2: Für ein effizientes und erfolgreiches Feintuning der Konversations-KI ist eine Datenkuration von Winter u. a. (2023) notwendig. Abschnitte wie Literaturver-

zeichnis, Buchcover oder Grafiken müssen vor der Verwendung des Textes entfernt oder umgeschrieben werden.

- Aufgabe A1.3: Die trainierte Konversations-KI wird dann zur Beantwortung von Fragen zu Winter u. a. (2023) verwendet. Dabei wird während des Trainings der in Brown u. a. (2020) beschriebene „Zero-Shot“-Ansatz verfolgt. Dies bedeutet, dass das Verständnis der Fragestellung und die Bewertung wichtiger Informationen allein durch das Modell erfolgt und nicht durch vordefinierte Fragen im Datensatz dem Modell beigebracht wird.
- Aufgabe zu Ziel Z2
 - Aufgabe A2.1: Die in dieser Arbeit erstellte Konversations-KI wird vor und nach dem Training hinsichtlich ihrer Fähigkeit, Fragen korrekt zu beantworten, evaluiert. Dies ermöglicht eine Aussage über die Effektivität des Trainings und die Leistungssteigerung der Konversations-KI. Ebenso wird ein Vergleich mit dem aktuellen GPT-4 Modell (OpenAI, 2023) durchgeführt, um die Notwendigkeit eines Feintunings zu ermitteln.
 - Aufgabe A2.2: Bewertung der Antwortoptionen von Klausurfragen nach gleichen Kriterien wie in Omar u. a. (2023)

1.7 AUFBAU DER ARBEIT

Kapitel 1 beschreibt das grundlegende Umfeld dieser Arbeit, formuliert existierende Probleme und Anforderungen, bietet Ziele zur Lösung dieser Probleme an und gibt Aufgaben, zur Umsetzung dieser Ziele. In Kapitel 2 werden Grundlagen gelegt zum Verständnis der in dieser Arbeit verwendeten Technologie, während in Kapitel 3 der aktuelle Stand der Forschung zusammengefasst wird. Kapitel 4 umfasst Lösungsstrategien des in 1.2 formulierten Problem mit einer anschließenden Beschreibung der Umsetzung dieser Lösungen in Kapitel 5. Die Ergebnisse dieser Arbeit werden in Kapitel 6 präsentiert und in Kapitel 7 zusammengefasst diskutiert. Zusätzlich gibt Kapitel 7 einen Ausblick dieser Arbeit.

LÖSUNGSANSATZ

AUSFÜHRUNG DER LÖSUNG

DISKUSSION

ZUSAMMENFASSUNG

LITERATUR

- Ahrens, Wolfgang u. a. (2023). *Ethische Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie e.V. (GMDS), des Arbeitskreises der IT-Leiter/innen der Universitätsklinika (AL-KRZ) des Berufsverbandes Medizinischer Informatiker (BVMI), des Bundesverbandes der Krankenhaus-IT-Leiterinnen/Leiter e.V. (KH-IT) und des Deutschen Verbandes Medizinischer Dokumentare e.V. (DVMD)*. URL: https://www.gmds.de/fileadmin/user_upload/Aktivitaeten_Themen/praesidiumskommissionen/Ethische_Leitlinien.pdf (besucht am 23. 04. 2023).
- Brown, Tom u. a. (2020). „Language Models are Few-Shot Learners“. In: *Advances in Neural Information Processing Systems*. Hrsg. von H. Larochelle, M. Ranzato, R. Hadsell, M.F. Balcan und H. Lin. Bd. 33. Curran Associates, Inc., S. 1877–1901. URL: https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2020/file/1457c0d6bfc4967418bfb8ac142f64a-Paper.pdf.
- Brunsch, Hannes Raphael (2022). „Question Answering auf SNIK“. Besondere Lernleistung. Leipzig, Germany: Wilhelm-Ostwald-Schule. URL: <https://www.snik.eu/public/bell-hrb.pdf>.
- Esteva, Andre, Brett Kuprel, Roberto A. Novoa u. a. (2017). „Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks“. In: *Nature* 542, S. 115–118. DOI: [10.1038/nature21056](https://doi.org/10.1038/nature21056).
- Jahn, Franziska, Michael Schaaf, Barbara Paech und Alfred Winter (2014). „Ein Semantisches Netz des Informationsmanagements im Krankenhaus“. In: *Informatik 2014*. Hrsg. von E. Plödereder, L. Grunske, E. Schneider und D. Ull. Lecture Notes in Informatics. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V., S. 1491–1498.
- Omar, Reham, Omij Mangukiya, Panos Kalnis und Essam Mansour (2023). *ChatGPT versus Traditional Question Answering for Knowledge Graphs: Current Status and Future Directions Towards Knowledge Graph Chatbots*. Version 1. arXiv: [2302.06466](https://arxiv.org/abs/2302.06466) [cs.CL].
- OpenAI (2023). „GPT-4 Technical Report“. In: arXiv: [2303.08774](https://arxiv.org/abs/2303.08774) [cs.CL].
- QAnswer (2023). *Question Answering*. URL: https://app.qanswer.ai/public-share?kb=SNIK_BB&type=graph&user=kirdie (besucht am 09. 03. 2023).
- Schaaf, Michael, Franziska Jahn, Kais Tahar, Christian Kucherer, Alfred Winter und Barbara Paech (2015). „Entwicklung und Einsatz einer Domänenontologie des Informationsmanagements im Krankenhaus“. In: *Informatik 2015*. Lecture Notes in Informatics 246. Hrsg. von Douglas W. Cunningham, Petra Hofstedt, Klaus Meer und Ingo Schmitt.

Schneider, Dr. Johannes, Prof. Dr. Henning Vöpel und Martin Weis (2018). *Think beyond tomorrow*. URL: https://www.hwwi.org/fileadmin/hwwi/Publikationen/Studien/Screen_EY-18-049_STU_Think_beyond_tomorrow_KI_BKL1809-049-v6.pdf.

Winter, Alfred, Elske Ammenwerth, Reinhold Haux, Michael Marschollek, Bianca Steiner und Franziska Jahn (2023). *Health Information Systems*. 3. Aufl. Health Informatics. Springer Cham. ISBN: 978-3-031-12310-8. DOI: [10.1007/978-3-031-12310-8](https://doi.org/10.1007/978-3-031-12310-8). URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-12310-8>.

APPENDIX

ERKLÄRUNG

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe, insbesondere sind wörtliche oder sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet.

Mir ist bekannt, dass Zuwiderhandlung auch nachträglich zur Aberkennung des Abschlusses führen kann.

Ich versichere, dass das elektronische Exemplar mit den gedruckten Exemplaren übereinstimmt.

Leipzig, 31.09.2023

Paul Keller