

EINLEITUNG

1.1 AUSGANGSLAGE UND PROBLEMSTELLUNG

Künstliche Intelligenz (KI) und ihre steigende Leistungsfähigkeit haben in den letzten Jahren zu einer Vielzahl von neuen Anwendungen geführt. Eine große Bedeutung haben dabei Verfahren des maschinellen Lernens (ML). Ansätze zur Textgenerierung, die auf großen Sprachmodellen basieren, sowie Bild- oder Gestenerkennung in der Mobilität oder Medizin führten zu erheblichen wissenschaftlichen Fortschritten. Auch in der Logistik steigt der Anteil an ML-Anwendungen. In bestimmten Anwendungsfeldern, wie etwa dem autonomen Fahren, erzielen diese Ansätze große Erfolge, indem sie umfangreiche Datensätze analysieren und darauf aufbauend komplexe Entscheidungen treffen. Allerdings sind diese Modelle oft auf eine spezifische Aufgabe spezialisiert und reagieren weniger gut auf unvorhersehbare Veränderungen in ihrer Umgebung. Die wachsende Leistungsfähigkeit erfordert daher immer mehr anpassungsfähige ML-Verfahren, welche auf neue oder sich verändernde Situationen im praktischen Alltag reagieren können.

Im Gegensatz zu ML-Verfahren zeichnen sich Menschen durch ihre Fähigkeit aus, resilient und flexibel auf neue Situationen zu reagieren. Durch unzählige Interaktionen mit ihrer Umgebung sind sie dazu in der Lage sich kontinuierlich weiterzuentwickeln und sind zuverlässig gegenüber Störungen und dynamischen Entscheidungsprozessen. Insbesondere in Bereichen, in denen keine klar definierte Situation, sondern ein dynamischer Kontext mit unklar definierten Aufgaben vorliegt, sind menschliche Fähigkeiten von Vorteil [DHO12].

Als neues Forschungsfeld, welches die Fähigkeiten von menschlicher und künstlicher Intelligenz verbindet, ist das interaktive maschinelle Lernen (iML) zu nennen. Das Design von interaktiven Systemen, bei denen der Mensch als zentraler Teil des Lernprozesses im Vordergrund steht, ist ein Teilbereich von Human-in-the-Loop (HITL). HITL kombiniert maschinelles Lernen (z. B. überwachtes Lernen) mit menschlicher Intelligenz (z. B. aktives Lernen), indem der Mensch in jeder Stufe der Ausgabe des Algorithmus beteiligt wird. Von der Trainings- bis zur Testphase wird eine Rückkopplungsschleife zwischen Mensch und Algorithmus gebildet, welche das Lernverhalten interaktiv verbessert und die Effizienz eines Systems im Vergleich zu rein klassischen ML-Systemen verbessert. Human-in-the-Loop verbindet somit die Stärken von Mensch und Maschine zu einem integrierten und interaktiven Kreislauf [Mon21].

Die Gesundheitsbranche, insbesondere das Pflegeumfeld, zählt zu den speziellen Anwendungsbereichen, in denen die Implementierung von Human-in-the-Loop-Systemen sinnvoll ist. In der Pflege liegen viele selten auftretende Ereignisse mit unspezifischen Aufgaben sowie Umgebungsparametern vor, die ständig veränderbar scheinen. Die Generierung von ausreichend Trainingsdaten im Vorfeld der Entwicklung eines ML-Systems stellt in diesem Fall eine besondere Herausforderung dar, sodass bei der Einführung von ML-Systemen in diesen Anwendungsbereichen zunächst eine hohe Ungenauigkeit vorliegt. Des Weiteren

werden Pflegetätigkeiten von qualifizierten Fachkräften ausgeführt, die über erhebliches Prozess- und Expertenwissen in ihrem Bereich verfügen. Dieses Wissen stellt eine wertvolle Basis für ML-Systeme dar.

Aktuelle Anforderungen, wie der zunehmende Fachkräftemangel und Überlastungen des Personals, prägen die Entwicklungen in der deutschen Pflegebranche. Um diesen Problemen zu begegnen, hat sich der Einsatz von digitalen Technologien und Assistenzsystemen in den letzten Jahren als vielversprechende Lösung erwiesen. Bundesweite Programme zur Digitalisierung und Technologisierung von Krankenhäusern fördern Entwicklungen zur Unterstützung und Entlastung der Pflegefachpersonen bei alltäglichen Aufgaben. Besonders administrative und patientenferne Prozesse, wie etwa Dokumentationen, bergen hohes Potenzial durch digitale Systeme unterstützt bzw. automatisiert zu werden [Blu02]. Dadurch steht dem Pflegepersonal mehr Zeit für andere Tätigkeiten zur Verfügung, welche wiederum der direkten Patientenversorgung zugutekommt.

Eine erhebliche Herausforderung in der Pflege besteht darin, dass überwiegend menschengebundene Prozesse vorherrschen, welche eine hohe fachliche Expertise der Pflegefachkräfte erfordern. Bei Einsatz von maschinellen Lernsystemen in der Pflege müssen diese folglich dazu befähigt werden, von den Fachexperten zu lernen. Auf diese Weise entstehen interaktive Kreisläufe der Zusammenarbeit von denen sowohl der Mensch als auch das technische Lernsystem profitieren. Im Rahmen der Technologieentwicklung rücken eine prozess- und nutzerorientierte Perspektive somit vermehrt in den Vordergrund, um Belastungen zielgerichtet zu reduzieren und damit die Attraktivität des Pflegeberufs zu steigern [KWBM23].

Der Einsatz einer Human-in-the-Loop-Lösung innerhalb der Pflegeumgebung bringt somit interessante und zugleich herausfordernde Eigenschaften mit sich, welche im Rahmen dieser Arbeit betrachtet werden.

1.2 ANWENDUNGSGEBIET

Diese Arbeit fokussiert sich auf die Pflegeumgebung als Anwendungsgebiet, im Speziellen auf Pflegeprozesse während des Stationsalltages im Krankenhaus. Der anhaltende Mangel an Pflegefachkräften in Deutschland verschärft den Arbeitsdruck für das Pflegepersonal und sämtliche am Stationsalltag beteiligten Personen. Dies verursacht eine zunehmende physische und psychische Belastung. Gleichzeitig nimmt die Attraktivität des Pflegeberufs ab. Im Stationsalltag führen Pflegefachkräfte neben der eigentlichen Pflegetätigkeit viele administrativen Tätigkeiten aus, die zu einer zusätzlichen Belastung resultieren.

Einen großen Aufwand verursacht hierbei die administrative Dokumentation der geleisteten Pflegetätigkeiten in sogenannten Leistungsnachweisen, welche in der Regel manuell auf Papier durchgeführt wird. Der niedrige Digitalisierungsgrad führt zu zahlreichen Ineffizienzen bei der Dokumentation. Zeitliche Verzögerungen in der Durchführung führen beispielsweise zu Unterbrechungen in Arbeitsabläufen oder Fehlern in der Erfassung dokumentationswürdiger Tätigkeiten (siehe Kapitel 2.1.2). Ein bedeutender Aspekt sind die zeitlichen Aufwände, die für die Pflegedokumentation benötigt werden. Im Durchschnitt beansprucht dieser Bereich etwa 9 Prozent der Arbeitszeit [KHFG23].

Die Dokumentation dient dabei hauptsächlich einer ordnungsgemäßen Abrechnung sowie Qualitätssicherung und unterstützt indirekt die Gesundheit der Patienten, indem sie als Basis für die Planung weiterer Pflegemaßnahmen dient. Die aktuelle Einführung der elektronischen Patientenakte und die Umstellung der Krankenhäuser auf elektronische Dokumentationssysteme ebnet zudem den Weg für den Forschungsbereich der automatischen Pflegedokumentation, indem eine digitale Verfügbarkeit und Speicherung von Patientendaten ermöglicht wird [KHFG23]. Eine Automatisierung dieses Prozesses wird daher vermehrt als Weg zur Erhöhung von Effizienz und Prozesssicherheit angesehen. Automatische Erkennungen von ausgeführten Pflegetätigkeiten können beispielsweise dazu führen, dass die zeitlichen Aufwände für das manuelle oder elektronische Ausfüllen der Dokumentationsbögen erheblich reduziert werden.

Das Forschungsprojekt *Eingabefreie Station - Bewegungsbasierte Aufnahme von Pflegetätigkeiten zur automatisierten Dokumentation im Krankenhaus* greift diese Idee auf. Im Rahmen eines gemeinsamen Forschungsprojektes des Fraunhofer-Institutes für Materialfluss und Logistik IML mit Anwendungs- und Entwicklungspartnern wurde eine bestehende Lösung des maschinellen Lernens zur Erfassung von manuellen Prozessen auf das Anwendungsfeld der Pflege übertragen, um die Dokumentation zu automatisieren und damit die zeitlichen Dokumentationsaufwände zu reduzieren. Die Funktionsweise der Lösung wird im Grundlagenteil aufgegriffen (siehe Kapitel 2.1.4). Zur Reduktion der zeitlichen Aufwände für die Pflegedokumentation existieren unterschiedliche technologische Ansätze. Der hier betrachtete Ansatz beinhaltet ein bewegungsbasiertes System, welches menschliche Bewegungen mittels Sensoren sowie Kleinstfunktensendern erkennt und maschinelles Lernen, genauer Deep Learning-Verfahren, zur Erkennung von Aktivitätsmustern nutzt, um festgelegte Muster geleisteter Pflegetätigkeiten abzuleiten (siehe Kapitel 2.2.6).

Die Ergebnisse des Projektes bilden den aktuellen Entwicklungsstand maschineller Lernsysteme zur Prozessidentifikation ab, welcher im Rahmen dieser Arbeit weiterentwickelt wird. Die bestehende Forschungslücke dazu wird im folgenden Kapitel erläutert.

1.3 FORSCHUNGSLÜCKE

Geprägt von den in Kapitel 1.2 genannten Treibern zielen Assistenzsysteme zur Pflegedokumentation darauf ab, den zeitlichen Aufwand für administrative Tätigkeiten zu reduzieren und so mehr zeitliche Ressourcen für die Interaktion mit Patienten zu schaffen.

Pflegeprozesse sind dabei keine einfach zu erkennenden Prozesse. Bewegungen werden von verschiedenen Personen in unterschiedlichen Ausführungsformen und Reihenfolgen durchgeführt. Ebenfalls liegen nur geringe Datensätze vor, auf die zurückgegriffen werden kann, um ein ML-Modell im Vorfeld anzutrainieren. Dies sind nur einige Gründe, welche die Herausforderung der Prozesserschaffung darstellen und daher zu einer geringeren und unzuverlässigeren Erkennungsgenauigkeit des ML-Modells führen. Um dem entgegenzuwirken ist es sinnvoll Menschen bzw. die Nutzer¹ des Systems, welche ebenfalls über zusätzliches Prozesswissen verfügen, in den Kreislauf einzubinden.

¹ Aus Gründen der Leserlichkeit wird in dieser Arbeit das generische Maskulin verwendet. Die genannten Bezeichnungen beziehen sich, sofern nicht anders kenntlich gemacht, auf beide Geschlechter.

Basierend auf der zuvor beschriebenen ML-Lösung des klassischen maschinellen Lernens (überwachtes Lernen) zielt diese Arbeit darauf ab, die Identifikation von Pflegetätigkeiten durch die Integration des Pflegepersonals in das System (Human-in-the-Loop) zu verbessern und die Genauigkeit der Erkennung zu steigern. Im Speziellen wird die Lösung um eine Training-on-the-Job-Lösung erweitert, welche zu einem interaktiven maschinellen Lernsystem führt und flexibel während der Pflegetätigkeit eingesetzt werden kann. Abbildung 1.1 beschreibt die Forschungslücke und den Lösungsansatz dieser Arbeit.

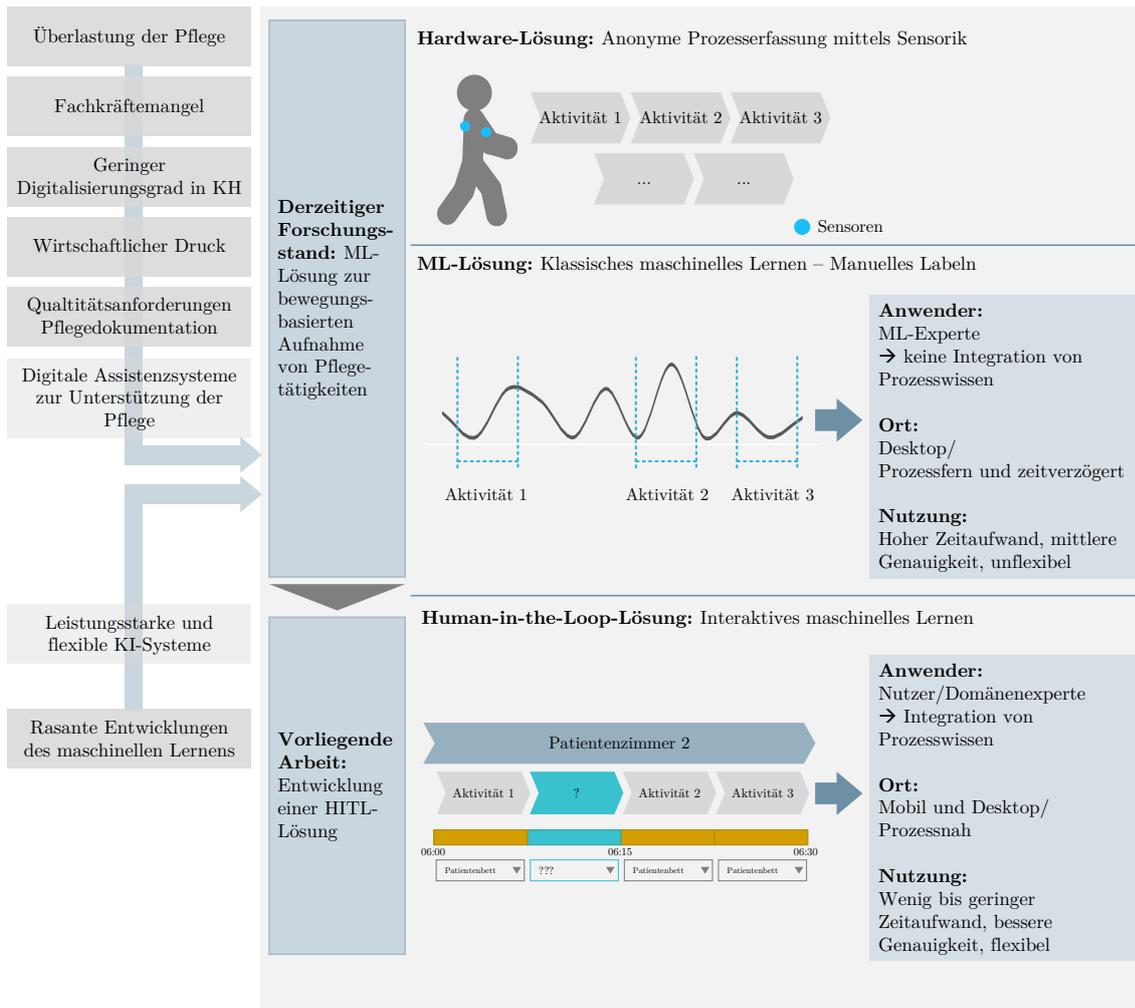


Abbildung 1.1: Darstellung der Forschungslücke und Lösungsansatz

Klassische Ansätze des maschinellen Lernens involvieren in der Regel ML-Experten statt Nutzer bei der Entwicklung. Sie führen Änderungen an ML-Modellen durch und agieren mit diesen. Dabei bleibt jedoch viel Prozesswissen von Nutzern, die oft Domänenexperten sind und wertvolles Feedback bieten könnten, ungenutzt. Zudem gibt es im Entwicklungszyklus des maschinellen Lernens nur eine begrenzte Interaktivität. Änderungen am Modell erfolgen nur schrittweise in größeren Zyklen (siehe Abbildung 1.1).

Im Rahmen von HITL-Konzepten ist die Entwicklung von ML-Systemen auf die Beteiligung von Domänenexperten ausgerichtet. Die Einbindung in den Entwicklungsprozess führt nicht nur zu höherer Genauigkeit des ML-Systems, sondern eröffnet auch Vorteile, die ohne menschliche Einbindung nicht erreichbar sind. Zudem wird das Feedback unmittelbar und prozessnah in das Modell des maschinellen Lernens integriert, um das System zu optimieren. Dies ermöglicht dem Nutzer, das System um kontextsensitive Informationen zu ergänzen oder neue Klassen für die Mustererkennung anzulernen. Auf diese Weise werden Anpassungszyklen verkürzt, zeitverzögerte Feedbackschleifen minimiert und die Integration von prozessbezogenen Informationen in das ML-Modell ermöglicht. Jedoch erfordert die Integration eine detaillierte Untersuchung der Mensch-Computer-Schnittstelle sowie eine nutzerzentrierte Gestaltung der Interaktion (siehe Abbildung 1.1).

Aus vielerlei Perspektiven ist es daher sinnvoll, zur Bewertung der automatisch erkannten Prozesse, menschliche Intelligenz in den Kreislauf einzubinden. Innerhalb der vorliegenden Arbeit wird die Einbindung der menschlichen Intelligenz in ein Verfahren des maschinellen Lernens untersucht und ein allgemeingültiges HITL-Konzept für eine prozessintegrierte Einbindung in den Alltag, mit möglichst wenig Mehrbelastung für den Menschen, entwickelt.

Da keine Standardmethode für den Entwurf eines Human-in-the-Loop Systems existiert, wird zunächst eine grundlegende Methode für einen Einsatz in der Pflegeumgebung entwickelt. Der Fokus liegt dabei auf einer qualitativen und prozessualen Entwicklung des HITL-Konzeptes, welche insbesondere die Mensch-Computer-Interaktion wissenschaftlich untersucht und eine kompatible Modellierung mit sämtlichen Umgebungsparametern ermöglicht.

Interaktives maschinelles Lernen, insbesondere Human-in-the-Loop, ist ein relativ neuer Ansatz und noch kein sehr bekannter Begriff [HVZ16]. Die Forschungsarbeit beschränkt sich auf einige wenige Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen weltweit. Forschungsarbeiten im Bereich des klassischen maschinellen Lernens beziehen in ihre Studien immer wieder interaktive Systeme mit ein und verstehen schrittweise, dass die Integration der Nutzer in die Entwicklungsphase immer mehr an Bedeutung gewinnt (siehe Kapitel 2.4).

In vielen Anwendungsgebieten, auch außerhalb der Pflege, bestehen derzeit noch Forschungslücken zu diesem Themenbereich [MRHPAR⁺23]. Aus diesem Grund sind die Ergebnisse der Arbeit sowohl auf das gewählte Anwendungsgebiet der Pflegeumgebung als auch auf weitere Anwendungsfelder der Prozessoptimierung von manuellen Arbeitsprozessen übertragbar. Das Konzept findet damit eine allgemeingültige Anwendung.

1.4 FORSCHUNGSZIEL

Abgeleitet von den zuvor beschriebenen Forschungslücken besteht das Ziel dieser Arbeit in der Entwicklung eines nutzerorientierten und prozessbegleitenden Human-in-the-Loop-Konzeptes zur Prozessidentifikation am Beispiel der Pflege. Durch die Kombination von ML und menschlichem Feedback sollen bei Anwendung des HITL-Konzeptes Pflegetätigkeiten mit einer höheren Zuverlässigkeit erkannt und eine nachträgliche und zeitaufwendige Pflegedokumentation reduziert werden. Dazu ist die Entwicklung einer prozessintegrierten Lösung erforderlich, um eine bestmögliche Einbindung in die Arbeitsumgebung zu erreichen.

Das erste Teilziel besteht in der erstmaligen Untersuchung und Analyse der erforderlichen Konzeptanforderungen, welche in die drei Bereiche Prozess, Mensch und Algorithmus unterteilt werden. Während im ersten Teil zur Ableitung der Anforderungen der Fokus auf das Anwendungsszenario „Pflege“ gelegt wird, steht der Mensch bzw. die Pflegefachperson im zweiten Teil im Mittelpunkt. Im dritten Teil wird der Fokus auf die Technik bzw. den Algorithmus und somit auf die bestehende Lösung des maschinellen Lernens zur Prozessidentifikation in der Pflege gelegt. Es wird untersucht, inwieweit die Methode des klassischen maschinellen Lernens in dem zu untersuchenden Anwendungsgebiet sinnvolle Entscheidungen trifft bzw. wann die Funktionalität des klassischen ML endet. Aus den drei Bereichen lassen sich schließlich die zu berücksichtigten Anforderungen für das Konzept definieren. Die beschriebene Zielstellung führt zur ersten zentralen Forschungsfrage, die in dieser Arbeit behandelt wird und die erste Forschungslücke adressiert:

Forschungsfrage 1:

Welche Anforderungen aus Prozess-, Nutzer- und Technikperspektive müssen erfüllt werden, um Pflegeprozesse mit einer HITL-Lösung identifizieren zu können?

In einem zweiten Schritt erfolgt die Entwicklung eines HITL-Konzeptes durch die Einbindung des Menschen in die Lösung. Bei der Entwicklung des Konzeptes ist das Finden des optimalen Interaktionsgrades der menschlichen Interaktion von großer Relevanz, um das Konzept bestmöglich in die Arbeitsumgebung des Menschen zu integrieren. Gleichzeitig soll die ML-Lösung durch die Mensch-Computer-Interaktion effizienter werden. Das Ziel ist es, das funktionale Gleichgewicht zwischen Mensch und Technik in der alltäglichen Pflegeumgebung im Krankenhausalltag zu finden und den Aufwand der Pflegedokumentation zu reduzieren. Das Pflegepersonal soll dabei so wenig wie nötig in der eigentlichen Tätigkeit beeinträchtigt werden.

In Bezug auf das Anwendungsgebiet sind dabei wichtige Faktoren zu berücksichtigen, die besondere wissenschaftliche Herausforderungen darstellen. Unter Beachtung des hohen zeitlichen Drucks während der Pflegetätigkeiten sollte die Human-in-the-Loop-Lösung eine geringe Prozessvisibilität aufweisen und den eigentlichen Arbeitsprozess möglichst wenig stören. Eine zeitnahe Interaktion mit dem HITL-Konzept ist von entscheidender Bedeutung, um die erkannten Tätigkeiten zügig in die Patientenakte zu übertragen. Das bedeutet, dass der Mensch während seiner eigentlichen Arbeitstätigkeit aktiv in den Prozess des interaktiven Lernens eingebunden wird. Es liegt somit ein Zielkonflikt des funktionalen Gleichgewichts vor, welcher bei der Entwicklung eines nutzerorientierten Konzepts für interaktives maschinelles Lernen beachtet werden muss. Aus dieser Situation wird die zweite Forschungsfrage abgeleitet:

Forschungsfrage 2:

Wie muss ein Human-in-the-Loop-Konzept ausgestaltet sein, sodass es sich für den Einsatz zur Prozessidentifikation in der Pflege eignet, Dokumentationsaufwände reduziert und Domänenexperten bereit sind, die Lösung während des eigentlichen Arbeitsprozesses zu nutzen?

1.5 AUFBAU DER ARBEIT

Der Aufbau der Arbeit orientiert sich an der Beantwortung der zuvor definierten Forschungsfragen. Die vorliegende Arbeit besteht aus sieben Hauptkapiteln, die sowohl theoretische als auch praktische Aspekte und Herausforderungen des Anwendungsfeldes behandeln (siehe Abbildung 1.2). Dabei werden wissenschaftliche Erkenntnisse mit praktischen Erfahrungen kombiniert.

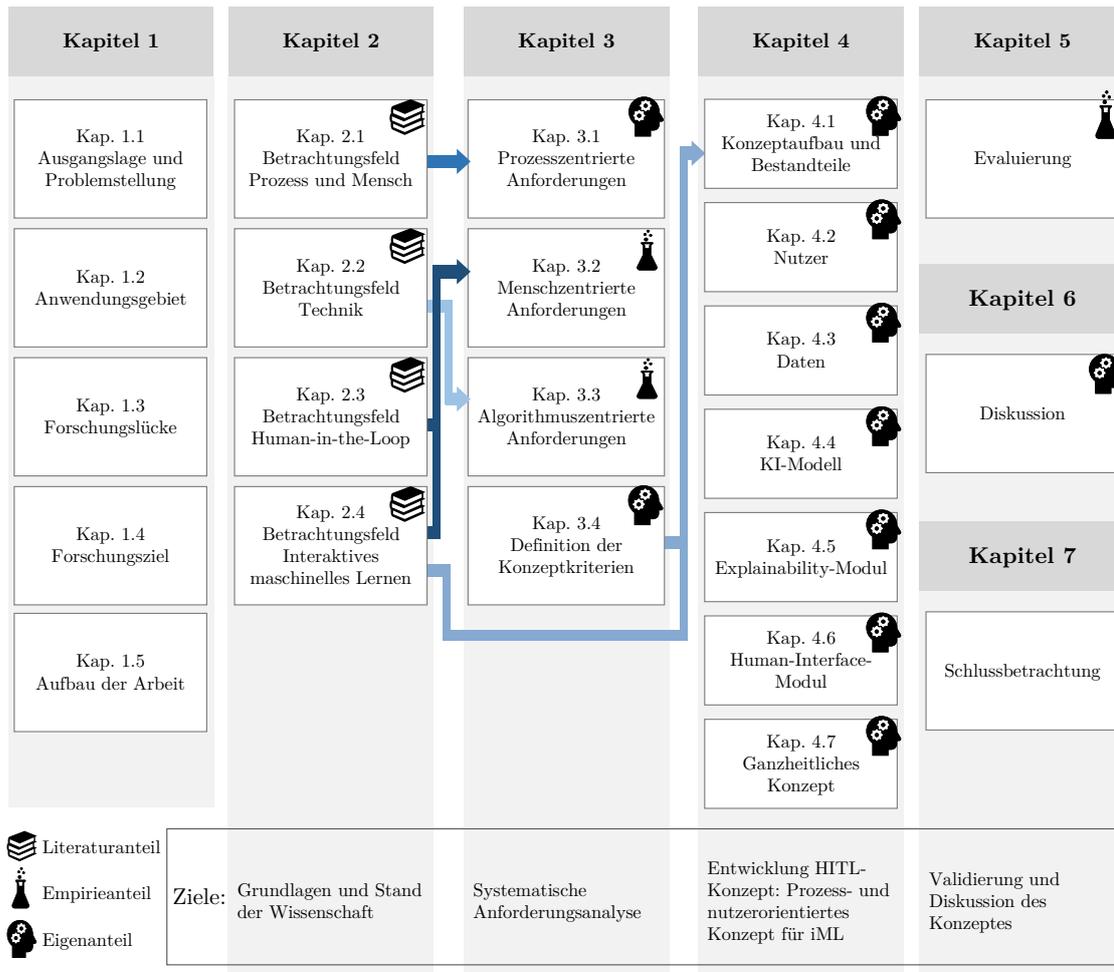


Abbildung 1.2: Aufbau der Arbeit, wobei die Kapitel mit einem hohen Literatur-, Empirie- oder Eigenanteil besonders hervorgehoben sind

Im ersten Hauptkapitel werden die Ausgangslage, Problemstellung, Forschungslücke und das Forschungsziel beschrieben. Im zweiten Hauptkapitel werden die theoretischen Grundlagen sowie der Stand der Wissenschaft, auf denen diese Arbeit aufbaut, dargestellt. Dazu wird ein triangulärer Ansatz verfolgt, bei dem die Grundlagen in die Bereiche Prozess, Mensch und Technik eingeteilt werden. Des Weiteren werden die wissenschaftlichen Grundlagen für Human-in-the-Loop und das interaktive maschinelle Lernen geschaffen. Das dritte Hauptkapitel umfasst eine systematische Anforderungsanalyse, welche ebenfalls

der Einteilung nach Prozess, Mensch und Technik bzw. Algorithmus folgt. Es werden die Anforderungen aus den beschriebenen Perspektiven an ein Human-in-the-Loop-Konzept erarbeitet und in Konzeptkriterien überführt, welche die Grundlage für das vierte Hauptkapitel bilden.

Dieses befasst sich mit der Entwicklung des Human-in-the-Loop-Konzeptes. Nach einer Beschreibung des Konzeptaufbaus, werden die einzelnen Bestandteile erläutert. Die Konzeptbestandteile gliedern sich in die Hauptbestandteile klassischer HITL-Modelle (Daten, Modell, User, Interface). Im fünften Kapitel werden zur Evaluierung des HITL-Konzeptes zunächst Evaluierungsmetriken definiert und das Konzept anschließend im Rahmen mehrerer Evaluierungsmethoden bewertet. In diesem Kapitel soll die Nutzbarkeit des Konzeptes evaluiert werden. Kapitel sechs umfasst den Diskussionsteil, bestehend aus einer kritischen Würdigung und der Beschreibung der theoretischen, technologischen und anwendungsbezogenen Beiträge sowie Potenziale. Abgeschlossen wird diese Arbeit mit einer Schlussbetrachtung, die einen Ausblick auf mögliche Anknüpfungspunkte für weiterführende Forschungsarbeiten gibt.

Das methodische Vorgehen wird überwiegend durch das dritte, vierte und fünfte Hauptkapitel bestimmt. Das Kapitel 2 schafft die theoretische Basis. Die erste Forschungsfrage wird durch die systematische Anforderungsanalyse in Kapitel 3 beantwortet. Die HITL-Konzeptentwicklung im Rahmen des Kapitels 4 beantwortet die zweite zentrale Forschungsfrage. Die erarbeiteten Inhalte werden wiederum in der Evaluierung, in Kapitel 5, bewertet.