

Entwicklungsansatz eines datenbasierten Assistenzsystems zur dynamischen Ergonomiebewertung

Katharina Müller-Eppendorfer¹, Christina Pietschmann¹, Alexander Engelsberger²,
Thomas Davies², Leif Goldhahn¹

¹Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften,
Professur Produktionsinformatik, Mittweida, Deutschland

²Hochschule Mittweida, Fakultät Angewandte Computer- und Biowissenschaften,
Professur Computational Intelligence, Mittweida, Deutschland

Kurzfassung

Im Rahmen des Projektes „PerspektiveArbeit Lausitz (PAL) - Kompetenzzentrum für die Arbeit der Zukunft in Sachsen und Brandenburg“ wird ein datenbasiertes Assistenzsystem zur Ergonomiebewertung entwickelt. Hohe Produktvarianz und flexibel wechselnde Arbeitsaufgaben fordern die Mitarbeitenden der Montage immer stärker heraus. Der Digitale Wandel bietet Möglichkeiten, die Menschen bei ihren Tätigkeiten zu unterstützen und somit dem Fachkräftemangel und der demographischen Entwicklung entgegenzuwirken. Durch Analyse und Bewertung ergonomischer Aspekte der Arbeitstätigkeit und ein Echtzeit-Feedback zur Körperhaltung soll der Mensch bei seinen Tätigkeiten entlastet werden. Hierbei kommen auch Methoden und Techniken der Künstlichen Intelligenz (KI) zum Tragen. Die Attraktivität der Arbeit wird gesteigert und die Arbeitsfähigkeit der Arbeitenden bleibt länger erhalten. Der Beitrag zeigt den Ansatz für diese dynamische Ergonomiebewertung und stellt den Einsatz und die Kombination der Hardware sowie die Anforderungsspezifikationen und die geplante Softwarearchitektur vor.

1. Einleitung

Hohe Produktvarianz, wandlungsfähige Arbeitsaufgaben und -inhalte sowie der digitale Wandel zeichnen die heutige Arbeitswelt aus [5]. Ebenfalls sind der Strukturwandel, alternde Belegschaften und der Fachkräftemangel als Herausforderung bei der Erstellung technischer Hilfsmittel zu berücksichtigen. Mittels datenbasierter Assistenzsysteme (basierend auf Algorithmen, Datenanalysen, Datenauswertung und Visualisierung) sollen die Anforderungen menschengerechter Arbeitsgestaltung, speziell im Bereich der Montage, Unterstützung finden und Stress und Belastungen der Mitarbeitenden reduzieren [2]. Im Beitrag werden speziell die Ziele der unternehmensspezifischen Einführung eines datenbasierten Assistenzsystems, die Vorgehenssystematik zur Erstellung datenbasierter Assistenzsysteme, die Auswahl und der Test der Hardware sowie der softwaretechnische Ansatz beschrieben.

2. Grundlagen und Ziel

2.1. Reihenfolge

Im Rahmen des Projektes PAL werden aktuelle Fragen zu datenbasierten Assistenzsystemen, Strukturwandel, menschengerechter Arbeit sowie Wettbewerbsfähigkeit beantwortet. Mit Partnerunternehmen werden spezielle Problemstellungen in verschiedenen Schwerpunktprojekten bearbeitet und dafür themenspezifische Strategien entwickelt und perspektivisch die Einführung bei den Partnern erarbeitet.

2.2 Unternehmensspezifische Ziele

Das Partnerunternehmen des ersten Schwerpunktprojektes ist ein Elektronikdienstleister, welcher sich auf die Montage von Leiterplatten und Geräten spezialisiert hat. Für den digitalen Wandel und die Verbesserung der Arbeitsbedingungen der Mitarbeitenden soll ein datenbasiertes Assistenzsystem entwickelt werden. Dies hat maßgeblich folgendes Zielsystem. Echtzeit-Feedback an den Mitarbeitenden in den Bereichen:

- Ergonomische Haltung (per Ampel) inkl. zusätzlicher Empfehlungen für Verbesserungen der Haltung
- Perspektivisch Müdigkeitserkennung inkl. Empfehlungen für Arbeitsunterbrechung bzw. Wechsel der Arbeitstätigkeit

Im späteren Projektverlauf soll über eine anonymisierte Auswertungsmöglichkeit der Produktnummer auch ein Rückschluss auf die Produktionsergonomie und damit einhergehend auf Änderungen im Arbeitsablauf genommen werden. Dies muss produktbezogen, aber mitarbeiteranonym passieren.

Diese Ziele stellen wesentliche Rahmenbedingungen bei der Erstellung des datenbasierten Assistenzsystems dar und werden zwingend bei der Erstellung der Softwarearchitektur berücksichtigt.

2.3. Systematik

Um die genannten Ziele zu erreichen und die eingangs genannten Herausforderungen zu bewältigen, ist es

notwendig nach einem systematischen Vorgehen zu handeln (Abbildung 1).

Grundsätzlich wird der klassische, regelbasierte Ansatz zur ergonomischen Bewertung genutzt, der auf bekannten arbeitswissenschaftlichen Regeln, Algorithmen und Normen basiert. Diesen Ansatz soll ein lernendes System ergänzen.

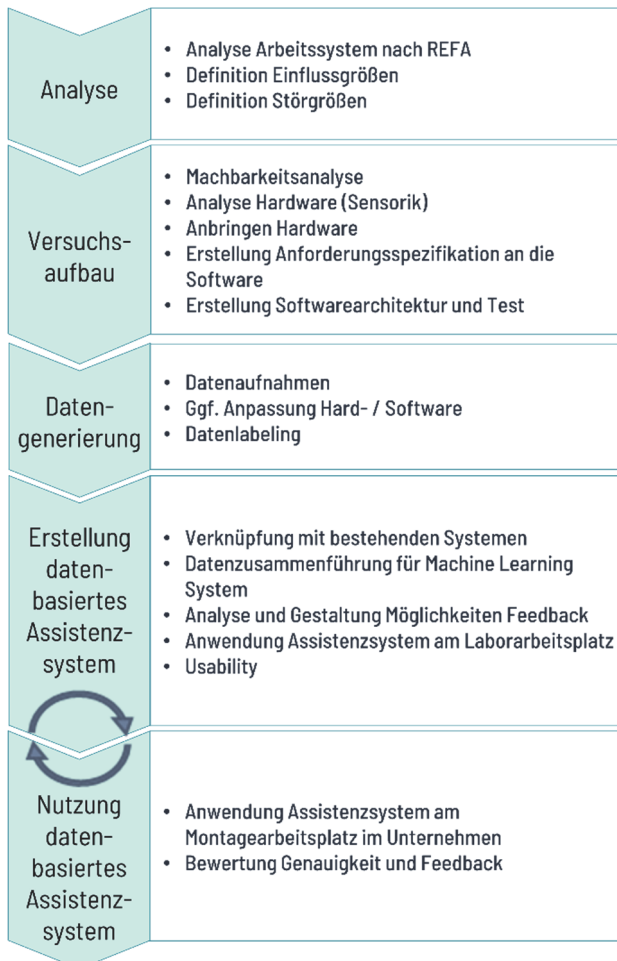


Abbildung 1: Vorgehenssystematik zur Erstellung eines datenbasierten Assistenzsystems (in Anlehnung an [3])

Zur Erstellung des datenbasierten Assistenzsystems werden fünf Entwicklungsschritte (Analyse, Versuchsaufbau, Erstellung datenbasiertes Assistenzsystem, Nutzung) durchlaufen.

Aktuell befindet sich das Schwerpunktprojekt in der zweiten Phase. Es erfolgen parallel die Definition der Anforderungen an die Software, das Anbringen der Hardware, sowie die Erstellung der Softwarearchitektur. Datenaufnahmen und das Labeln der Daten sind im nächsten Schritt geplant.

3. Hardwaretechnik

3.1 Herangehensweise

Folgende Punkte werden bei den grundlegenden Überlegung zur Hardware berücksichtigt:

- Datenschutz,

- Datenspeicherung,
- Bildauflösung und -wiederholffrequenz,
- KI-Strategie [6] und
- Untersuchung von Edge Hardware (zur lokalen, netzwerklosen Anwendung)

Die Hardware setzt sich aus zwei Entwicklungsgegenständen zusammen. Zum einen die Wahl der passenden **Hardwarekomponenten**, zum anderen die Entwicklung der **Schnittstellen zum Softwaresystem** (Kommunikation zwischen Hardware und Softwaresystem).

3.2 Hardware Versuche

Die Hardwareentwicklung findet in mehreren Versuchen statt, die auf die verschiedenen Schwerpunkte angepasst sind.

Im **ersten Versuchsaufbau** wird jeder Typ Hardware (Vgl. Abbildung 2) einmal aufgebaut. Ziel ist der Test der Software auf Stabilität und Hardwarekompatibilität.

Der **zweite Aufbau** repräsentiert die vollständige Hardware ohne Positionierung an einem Arbeitsplatz. Dies ermöglicht das Testen auf Engpässe / Barrieren / Beeinträchtigungen in der Datenübertragung sowie die Entwicklung der Werkzeuge zur Verwaltung von Software und Modell-Versionen. Als Ergebnis dieses Schrittes sind die Hardwarekonfiguration und das Software-system (Vgl. Absatz 4) prototypisch vollständig vorhanden.

Im **dritten Versuch**, dem Laborversuch am Montagearbeitsplatz, werden Sensorpositionierungen getestet und Daten für das KI-Training gesammelt.

Dieser Laborarbeitsplatz wird mit einem weiteren Arbeitsplatz in einer Partnerfirma validiert und bei Bedarf adaptiert. Hier werden Laborannahmen geprüft, komplexere Montageprozesse getestet und weitere Daten gesammelt.

3.3 Prototypische Umsetzung

Der Hardwareprototyp setzt sich aus unterschiedlichen Komponenten zusammen, die verschiedene potenzielle Stärken von Edge Hardware hervorheben. Die Stärken sind:

- günstige Kamera-Hardware,
- günstige, energieeffiziente KI-Hardware,
- energieeffiziente Logikhardware und
- flexible Installation aufgrund vieler kleiner Komponenten.

Die Komponenten basieren auf marktüblichen Single Board Computern (SBC), also vollständigen Computern, die auf einer 9cm x 6cm großen Platine untergebracht sind.

Führend ist dabei der Raspberry Pi der Firma Raspberry Pi Foundation. Aufgrund seiner hohen Kompatibilität bei Hardware und Software kommt dieser auch bei den

Prototypen, hier in der Version 4B zum Einsatz. Die Videoaufnahmen werden mit der als Zubehör erhältlichen High-Quality-Kamera erstellt.

Für die vorgesehenen KI-Funktionen wird der auf diese Anwendung spezialisierte Prozessor der Firma Coral.ai eingesetzt. Dieser ist ebenfalls als SBC verfügbar, kann aber auch als USB-Erweiterung einen Raspberry Pi nachrüsten.

Speicherung und Logik werden von einem Odroid M1 der Firma Hardkernel übernommen. Dieser verfügt über ein schnelles Speicherinterface zur Aufzeichnung der Daten. Zudem verfügt das verbaute System on a chip (SoC) eine auf Neuronale Netze spezialisierte Neural Processing Unit (NPU) deren Fähigkeiten ebenfalls untersucht werden soll, da ähnliche Einheiten in modernen Smartphones verbaut sind.

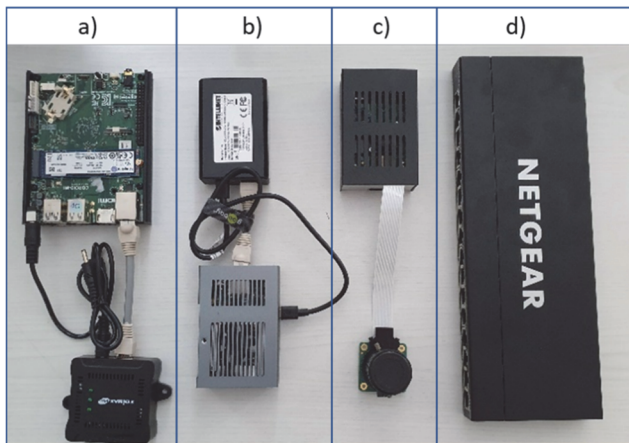


Abbildung 2: Abbildung 2: Komponenten der Hardware
a) Odroid M1 **b)** Coral Dev Board **c)** Rasperry Pi 4B mit High-Quality Kamera **d)** Switch zur Netzwerk- und Stromversorgung

Bei der Umsetzung als Produkt könnten die Komponenten durch individuelle und spezialisierte Hardwarelösungen ersetzt werden. Kosten durch evtl. überflüssige Komponenten würden wegfallen. Dadurch sinkt die Softwarekomplexität, was ebenfalls zu verbesserter Stabilität, Effizienz und Leistung führt.

4. Softwaretechnischer Ansatz

4.1 Vorbereitung und Anforderungsspezifikation

Für den Betrieb und die Anwendung des „Assistenzsystems“ wird eine Software entwickelt. Die Software ist dabei die Schnittstelle zwischen der Hardware und den Anwendern. Als Grundlage zum Entwicklungsprozess werden nach softwaretechnischen Prinzipien zunächst Anforderungsspezifikationen entwickelt. Dafür wird ein Lastenheft erstellt, welches aus Sicht des Auftraggebers (hier: die Arbeitsforschung) Lieferungen und Leistungen beschreibt, die das zu entwickelnde Produkt definieren [1, S.447]. Hierbei sind die am Projekt beteiligten Organisationen die Auftraggeber. Das Lastenheft dient für gewöhnlich als Ausschreibungs- oder auch Angebotsgrundlage. In diesem Projekt wird die Software inner-

halb der Hochschule Mittweida entwickelt, wodurch das Lastenheft die Grundlage für das Entwicklungsteam bildet.

Aus dem Lastenheft wird ein Pflichtenheft entwickelt. Das Pflichtenheft ist eine detaillierte Ausarbeitung des Entwicklungsprogramms [1]. Es wird beschrieben mit welchen Entwicklungswerkzeugen und in welcher architektureller Ausgestaltung in Software- und Hardwareform das Produkt tatsächlich entwickelt wird. Die Ausarbeitung geschieht in dem Fall im engen Austausch mit den Auftraggebern. Das Pflichtenheft stellt somit einen Entwicklungsvorschlag dar, der durch die Auftraggeber akzeptiert wird oder zur Überarbeitung wieder zurückgegeben wird. Abbildung 3 stellt die beschriebene Interaktion zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer zur Erstellung der Artefakte Lasten- und Pflichtenheft dar.

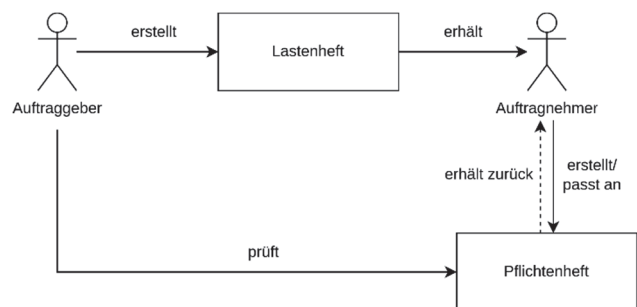


Abbildung 3: Dynamik zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer zur Erstellung der Artefakte Lasten- und Pflichtenheft

Im Lastenheft werden dabei für die Entwicklung wichtige Kriterien definiert. Diese Kriterien werden nach bestimmten Maßgaben in der Formulierung und Form entwickelt [1]. In Kapiteln gegliedert werden grobe Fragen wie allgemeine Zielstellung, Nutzergruppen/Zielgruppen, Zielsystem und Betriebsform etc. geklärt und zunehmend weiter konkretisiert, wodurch begleitend durch die Struktur dieser Artefakte ein zunehmender Detailgrad entsteht. Das Herzstück für die Entwicklungsarbeit bilden die nichtfunktionalen und funktionalen Anforderungen. Nichtfunktionale Anforderungen können als Qualitätsanforderungen verstanden werden, die qualitative oder auch quantitative Anforderungen des gesamten Softwaresystems oder in einer seiner Bestandteile formulieren. Funktionale Anforderungen hingegen beschreiben, wie ein System sich konkret verhalten soll. Hier werden konkret Funktionen beschrieben, die das System leisten soll. Zuletzt folgen noch Qualitätsmerkmale und Abnahmekriterien. Das Pflichtenheft wird nach den oben beschriebenen Anforderungen in Form einer technischen Spezifikation erzeugt.

4.2 Entwurf der Softwarearchitektur

Das Softwaresystem ist in drei Bestandteile (Labelingsoftware, Anwendersoftware, Feedbackkomponente) gegliedert. Die erste Komponente ist die **Labelingsoftware**. Diese dient zur Zuweisung von Bezeichnern (auch als Label bekannt) an aufgenommenem Bildmaterial

zum Betrieb von maschinellen Lernalgorithmen. Im maschinellen Lernprozess wird ein Lernalgorithmus trainiert, dem aufgenommenen Bildmaterial die korrekten Bezeichner wieder zuzuordnen. Ebenfalls wird dieser Teil der Software zur Entwicklung eines Kalibrierungssystems für die Assistenz des ergonomischen Arbeitens verwendet. Als zweite Komponente wird die **Anwendersoftware** entwickelt. Diese ist die Schnittstelle zwischen dem Hardwaresystem und dem Anwender, der gewonnene Daten verarbeiten will. Zuletzt gibt es noch die **Feedbackkomponente**, die als Dienst dem Mitarbeitenden Feedback zum Arbeitsprozess gibt. In der Ausgestaltung der Softwarebestandteile werden die Bestandteile eines wissensbasierten Systems berücksichtigt [4]. Die Abbildung 4 veranschaulicht das Softwaresystem.

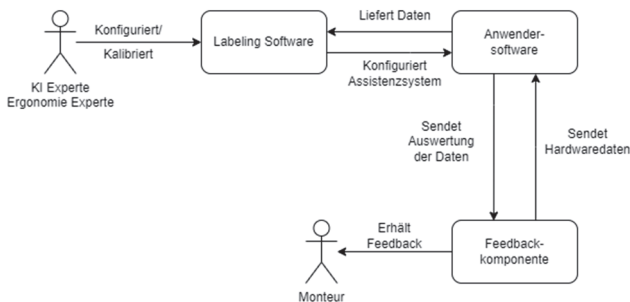


Abbildung 4: Softwaresystem

Die Entwicklung der Software erfolgt in verschiedenen Stufen. In der ersten Stufe wird das ergonomische Assistenzsystem entwickelt. Da dieses eine essenzielle Grundlage für alle weiteren Funktionen darstellt, ist es sinnvoll dafür einen einsatzfähigen Prototyp zu entwickeln.

In den weiteren Entwicklungsstufen folgen voraussichtlich die Erkennung von Bauteilen und Abläufen der Montage und eine Müdigkeitserkennung.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Der Beitrag stellt die Vorgehenssystematik zum Etablieren technischer Unterstützungsmöglichkeiten mit Fokus auf Hard- und Software für Mitarbeitende im Bereich der manuellen Montage vor.

Dieses Assistenzsystem soll den Mitarbeitenden Feedback zu ergonomischen Aspekten geben. Dieses Feedback soll in angemessener Form und ohne Störung des Arbeitsprozesses erfolgen. Hierfür werden gegenwärtig Regel-, Hardware- und Softwareoptionen geprüft. Durch

das System sollen drohende Gefahren erkannt und/oder abgewendet, ungünstige ergonomische Bewegungen oder Haltungen vermieden und stabile und sichere Arbeitsprozesse ermöglicht werden.

Hierbei sind grundsätzlich auch ein früher Fokus auf den Datenschutz und die möglichst hohe Akzeptanz durch die Mitarbeitenden wichtige und brisante Themen, die derzeit bearbeitet werden.

Im weiteren Verlauf des Projektes ist geplant zu testen, ob das datenbasiertes Assistenzsystem bezüglich der Prozessverfolgung mittels Objekterkennung im Arbeitsablauf anpassbar und erweiterbar ist. Auch das Erkennen von unerwarteten Ereignissen im Arbeitsverlauf wird derzeit diskutiert.

Weiterhin ist eine Überprüfung alternativer Kamerasysteme und Algorithmen zur Erfassung und Bewertung ergonomischer Faktoren und ein Variantenvergleich der verschiedenen Systeme geplant.

Danksagung / Angaben zu Fördermittelgebern

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die finanzielle Unterstützung sowie dem Projektträger Karlsruhe (PTKA) für die Betreuung des Forschungsprojektes „PerspektiveArbeit Lausitz (PAL) – Kompetenzzentrum für die Arbeit der Zukunft in Sachsen und Brandenburg“, Förderkennzeichen 02L19C300.



Kontaktdaten

Prof. Dr.-Ing. Leif Goldhahn

Hochschule Mittweida Leiter Institut InnArbeit – Zentrum für innovative Arbeitsplanung und Arbeitswissenschaft

Koordinator Verbundvorhaben PAL

Goldhahn@hs-mittweida.de



Literaturverzeichnis

- [1] Balzert, Helmut (2009): Basiskonzepte und requirements engineering, Lehrbücher der Informatik, 3. Aufl., Heidelberg: 1. Spektrum Akademischer Verlag.
- [2] Bayer, Christian Peter (2022): Methodik zur datenbasierten Unterstützung der Arbeitsvorbereitung beim Anlegen neuer Produktvarianten in digitalen Assistenzsystemen, Dissertation, Darmstadt, Technische Universität: TUprints. DOI: 10.26083.
- [3] Goldhahn, Leif; Pietschmann, Christina; Müller-Eppendorfer Katharina (2023). Systematik datenbasierter Assistenzsysteme im Bereich dynamischer Ergonomiegestaltung für Montagearbeitsplätze. In GfA 69. Frühjahrskongress 2023 Nachhaltig Arbeiten und Lernen. Sankt Augustin: GfA-Press, A.2.1.

- [4] Kaiser, Michael (2008): Mehrkriterielle Adaption multimedialer Prozessbeschreibungen für den Fabrikbetrieb mittels wissensbasierter Planungssysteme, Dissertation, Chemnitz, Technische Universität: Wissenschaftliche Schriftenreihe des Institutes für Betriebswissenschaften und Fabrikssysteme, 68. IBF.
- [5] Neitzner, Ina (2021): IFA - Fachinformationen: Arbeiten 4.0. Neue Herausforderungen für die Prävention, [online] <https://www.dguv.de/ifa/fachinfos/arbeiten-4.0/index.jsp> [01.06.2023].
- [6] Villmann, Thomas; Tolkmitt, Volker; Baumgart, Matthias (2022). KI-Strategie der Hochschule Mittweida, Ludwig Hilmer (Hrsg.), [online] https://www.forschung.hs-mittweida.de/index.php?eID=tx_naw-securedl&u=0&g=0&t=1685763791&hash=d2849991cf10ee4f167724822d49ad64512abb68&file=fileadmin/verzeichnisfreigaben/forschng/dokumente/KI_Strategie_HSMW_2021_netz.pdf [01.06.2023].