

# Sachbericht zum Verwendungsnachweis

## Verbundprojekt

Kompetenzzentrum für Arbeit und Künstliche Intelligenz  
im Rhein-Main-Gebiet (KompAKI)

Teilprojekt: Evaluierung von Smart-Use als KI-basiertes Geschäftsmodell

## in der Fördermaßnahme

Zukunft der Arbeit: Regionale Kompetenzzentren der Arbeitsforschung

## Autor(en)

Gebr. Heller Maschinenfabrik GmbH, Gebrüder-Heller-Str. 15, 72622 Nürtingen  
Michael Wesoly, michael.wesoly@heller.biz

**Projektlaufzeit:** 01.10.2020 – 30.09.2025

**Erstellungsdatum:** 30.03.2026

## Projektpartner

Gebr. Heller Maschinenfabrik GmbH (02L19C156)  
TU Darmstadt: Institut für Produktionsmanagement, Technologie und  
Werkzeugmaschinen (PTW), Lehrstuhl Wirtschaftsinformatik, Institut für  
Arbeitswissenschaft  
Hochschule Darmstadt (h\_da): Professur für Angewandte Informatik, Professur  
für Prozess- und Produktinnovationen

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wurde durch das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Forschung, Technologie  
und Raumfahrt

## Inhaltsverzeichnis

I.	Teil I Kurzfassung .....	3
I.1	Aufgabenstellung.....	3
I.2	Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens .....	3
I.3	Wesentliche Ergebnisse im Überblick .....	4
II.	Teil II Eingehende Darstellung .....	5
II.1	Motivation und Aufgabenstellung.....	5
II.2	Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens .....	5
II.3	Planung und Ablauf des Vorhabens .....	6
II.4	Erzielte Ergebnisse.....	8
II.5	Darstellung des während des Vorhabens bekannt gewordenen Fortschritts auf diesem Gebiet bei anderen Stellen .....	11
II.6	Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit der Ergebnisse	12
II.7	Zusammenarbeit mit anderen Stellen außerhalb des Verbundprojektes .....	13
II.8	Veröffentlichungen, Vorträge Referate, etc. ....	13
II.9	Literaturverzeichnis .....	13

## **I. Teil I Kurzfassung**

Das Forschungsprojekt hatte das Ziel, innovative Geschäftsmodelle im Bereich Smart Use Services zu entwickeln und zu validieren. Damit sollten moderne Lösungen geschaffen werden, die durch den Einsatz künstlicher Intelligenz (KI) Mitarbeiter sowohl in der Ausbildung als auch in der betrieblichen Praxis unterstützen. Ein besonderer Fokus lag dabei auf der Weiterentwicklung des CNC-ProfiTrainers, um KI-basierte Anwendungen zu integrieren und neue Wege für die Gestaltung von Arbeitssystemen zu eröffnen.

Im Verlauf des Projekts wurde mit der Business Canvas Methode ein umfassendes Bild über die zu berücksichtigenden Rahmenbedingungen und Parameter erarbeitet. Mit diesen Erkenntnissen wurde ein Smart Use Service (Audiobasierte Anomalieerkennung) entwickelt, der im zweiten Arbeitspaket technisch auf dem CNC-ProfiTrainer realisiert wurde. Dazu wurden Versuche entwickelt, die die Audiosignatur des Bearbeitungsprozesses in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern aufnehmen und als Lernmenge für eine Qualitätseinschätzung des Fräsergebnisses bereitstellen. In einer prototypischen Softwarelösung konnte gezeigt werden, dass eine Erkennung der unterschiedlichen Bearbeitungszustände auch mit günstiger Mikrofontechnik (Smartphone) möglich ist.

Um den Nutzen eines solchen Smart Use Services bewerten zu können, wurde von den beteiligten Forschungspartnern eine Conjoint-Analyse durchgeführt, die wesentliche Gestaltungsmöglichkeiten sowie einen Rahmen für Monetarisierungsansätze aufzeigt.

### **I.1 Aufgabenstellung**

Im Kompetenzzentrum KompAKI wurden Möglichkeiten untersucht, wie Künstliche Intelligenz (KI) die Arbeitswelt verbessern kann. Das Teilprojekt bewertete Smart-Use als KI-basiertes Geschäftsmodell speziell hinsichtlich menschenzentrierter Praxis und neuer Einsatzmethoden. Im Mittelpunkt stand der CNC-ProfiTrainer von HELLER, eine kompakte Ausbildungsmaschine, die jungen Fachkräften die Arbeit an CNC-Maschinen praxisnah vermittelt. Ziel war es, Lernende für Zerspanung und den Umgang mit KI-Anwendungen zu begeistern und diese Kompetenzen weiterzuentwickeln.

Konkret wurde diese Aufgabenstellung in drei Arbeitspakete unterteilt und gemeinsam mit den beteiligten Forschungsinstituten bearbeitet:

1. Konzeptionierung des KI-Services „Smart Use“ und Integration in das Transferkonzept
2. Umsetzung des KI-basierten Services am Beispiel des CNC-ProfiTrainers
3. Validierung und Analyse der Auswirkungen auf Kundennutzen und Maschinenbedienenden

### **I.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens**

Der Maschinenbau ist weiterhin eine zentrale Stärke der deutschen Wirtschaft – vor allem durch Innovationen und die fortschreitende Digitalisierung. Diese Entwicklungen führen zu mehr Produktivität und eröffnen neue Wachstumschancen, indem Daten gezielt eingesetzt werden.

Industrieunternehmen suchen nach effizienten KI-Lösungen, die moderne Technologien mit Kostenvorteilen verbinden. Intelligente Services ermöglichen flexible Anwendung und machen KI durch automatisiertes Lernen auch für Nutzer ohne tiefes IT-Wissen oder große Investitionen zugänglich. Entscheidende Faktoren sind Transparenz und einfache Bedienbarkeit von Smart Use Services, damit auch kleinere Betriebe davon profitieren können.

Viele Industrieunternehmen nutzen das Potenzial von KI bisher eher zögerlich, obwohl dadurch die Produktivität gesteigert werden könnte. Das Projekt KompAKI will mit praktischer Kooperation und einer systematischen Betrachtung von KI-Geschäftsmodellen helfen, Fehler bei der Einführung von KI zu vermeiden.

### **I.3 Wesentliche Ergebnisse im Überblick**

Im Forschungsprojekt wurden digitale Services in drei Geschäftsbereichen mit dem Business Model Canvas analysiert und Smart Use Services entwickelt. Für den CNC-Profitrainer wurde eine audiobasierte Anomaliedetektion ohne Eingriff in die Maschinensteuerung konzipiert und prototypisch umgesetzt.

Zur Validierung wurden Audio-Trainingsdaten aufgezeichnet, die sich anhand der Merkmale Materialart, Werkzeugzustand und Materialfehlstellen unterschieden. Diese umfassten etwa 20 GB und wurden an zwei CNC-Profitrainern erzeugt und anschließend im KI-Demoprogramm verarbeitet. Ein mögliches User Interface entstand in Zusammenarbeit mit der TU Darmstadt.

HELLER unterstützte zudem die Entwicklung und Validierung eines Fragebogens zur Choice-based Conjoint-Analyse der h\_da, um den Kundennutzen der Smart Use Cases abzusichern.

Trotz der erfolgreichen Implementierung am CNC-ProfiTrainer hat sich der Forschungsansatz als nicht zukunftsfähig für eine industrielle Nutzung herausgestellt. Hier wird der direkte Zugriff auf die vorhandenen Steuerungsdaten bevorzugt. Diese Daten liegen in besserer Qualität bzw. Frequenz vor und umgehen den Umweg über die Aufnahme von Audiodaten, die dann wieder zu maschinenlesbaren Daten zur Weiterverarbeitung mittels KI umgewandelt werden müssen.

Dennoch haben sich die organisatorischen und betriebswirtschaftlichen Tools bewährt, die im Teilvorhaben (weiter-)entwickelt und eingesetzt wurden. Sie waren die Keimzelle für weitere Überlegungen für den Einsatz von KI an Werkzeugmaschinen bei HELLER, die nun konkret entwickelt wurden.

## **II. Teil II Eingehende Darstellung**

HELLER hat als Projektpartner die im Forschungsprojekt KompAKI erarbeiteten Ergebnisse zur Validierung der Geschäftsmodelle zu Smart Use Services eingesetzt und daran gearbeitet, den CNC-ProfiTrainer um KI unterstützte Anwendungen zu ergänzen.

Im Rahmen des Forschungsprojekts KompAKI hat HELLER als Projektpartner gezielt daran gearbeitet, die Validierung von Geschäftsmodellen rund um Smart Use Services voranzutreiben. Die gewonnenen Erkenntnisse wurden genutzt, um innovative Ansätze für den Einsatz von künstlicher Intelligenz in der betrieblichen Praxis zu entwickeln.

Ein zentraler Fokus lag dabei darauf, den CNC-ProfiTrainer um KI-unterstützte Anwendungen zu erweitern. Ziel war es, Potenziale für menschengerechte KI-Lösungen in der Ausbildung und Anwendung zu erschließen und neue Methoden zur Bewertung von KI-gestützten Arbeitssystemen zu entwickeln.

Die folgenden Absätze gehen nun detaillierter darauf ein, welche Aktivitäten und Ergebnisse zur Evaluierung von Smart-Use als KI-basiertes Geschäftsmodell durchgeführt worden.

### **II.1 Motivation und Aufgabenstellung**

Im Rahmen des Kompetenzzentrums für Arbeit und KI (KompAKI) wurden Wandlungspotenziale von neuen Technologien auf die Arbeitswelt untersucht und neue Ansätze für eine menschengerechte Gestaltung durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz in der betrieblichen Praxis entwickelt. Besonderer Fokus des Teilprojekts zur Evaluierung von Smart-Use als KI-basiertes Geschäftsmodell lag dabei darauf, Potentiale für menschengerechte KI-Anwendungen und deren Geschäftsmodelle in der betrieblichen Praxis zu erschließen, neue Ansätze zur Nutzung von KI zu entwickeln sowie neue Methoden zu generieren, um die Arbeit in KI-unterstützten Arbeitssystemen zu bewerten.

Zentrales Anwendungsobjekt war dabei die von HELLER entwickelte Bildungsmaschine CNC-ProfiTrainer, die insbesondere für die Ausbildung junger Facharbeiter an CNC-Maschinen genutzt wird. Der ProfiTrainer ist dabei eine funktional vollwertige CNC-Maschine im geschrumpften Maßstab. Während alle Bedienelemente und die CNC-Steuerung dem handelsüblichen Standard eines industriellen, horizontalen Bearbeitungszentrums entsprechen, wurde die Maschine so ausgelegt, dass Bearbeitungsprozesse gut einseh- und damit erlebbar gemacht wurden. Zentrales Anliegen des Teilvorhabens war es, Auszubildende und Studierende mit dem CNC-ProfiTrainer sowohl die Welt der Zerspanung anschaulich näher zu bringen als auch an die Nutzung und Weiterentwicklung von KI-Anwendungen heranzuführen.

Konkret wurde diese Aufgabenstellung in drei Arbeitspakete unterteilt und gemeinsam mit den beteiligten Forschungsinstituten bearbeitet:

1. Konzeptionierung des KI-Services „Smart Use“ und Integration in das Transferkonzept
2. Umsetzung des KI-basierten Services am Beispiel des CNC-ProfiTrainers
3. Validierung und Analyse der Auswirkungen auf Kundennutzen und Maschinenbedienenden

### **II.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens**

Der Maschinenbau ist ein Grundpfeiler der deutschen Wirtschaft und zeichnet sich gegenüber Wettbewerbern aus anderen Weltregionen durch einen hohen Grad an Innovation aus. Wesentlicher Treiber dieser Innovation ist in den letzten Jahren die fortschreitende Digitalisierung, die nicht nur in der Maschine für Produktivitätsfortschritte sorgt, sondern auch in den vor- und nachgelagerten Prozessen vermehrt Einzug erhält. Hier bietet sich die Chance, weitere Wachstumspotenziale zu erschließen, indem die anfallenden Daten mit Smart Use Cases zu wertsteigernden Informationen verarbeitet werden.

Um Unternehmen mit maßgeschneiderten KI-Lösungen zu unterstützen, sind innovative Ansätze erforderlich, die das Potenzial neuer Technologien ausschöpfen und gleichzeitig eine hohe Kosteneffizienz für den Einsatz beim Kunden gewährleisten. Intelligente Services nehmen dabei eine zentrale Position ein, da sie flexibel vom Kunden je nach Bedarf genutzt werden können. Durch automatisiertes maschinelles Lernen, das erklärbare und interaktive Ergebnisse liefert, eröffnen sich Anwendern und Maschinenbedienern die Möglichkeiten der künstlichen Intelligenz, ohne umfangreiche Investitionen oder tiefgehende Data Science Kenntnisse zu benötigen. Für die Umsetzung dieses Konzepts ist insbesondere der Mitarbeiter von Bedeutung, der in traditionell wenig automatisierten Fertigungsumgebungen die Maschine steuert. Hilfreiche Smart Use Services müssen verständlich, transparent und kontrollierbar sein, um auch kleinen Betrieben eine wettbewerbsfähige Anwendung zu ermöglichen.

Trotz der erwarteten Produktivitätsgewinne sind Industrieunternehmen immer noch zurückhaltend bei der Entwicklung und dem Einsatz von künstlicher Intelligenz. Durch die gemeinsame, praxisbezogene Bearbeitung dieser Themenstellung im Projekt KompAKI sollen die Risiken für das Scheitern von KI-Implementierungen reduziert werden. Im vorliegenden Teilprojekt soll dies vor allem durch die systematische und integrierte Betrachtung von KI-basierten Geschäftsmodellen erreicht werden.

### **II.3 Planung und Ablauf des Vorhabens**

Trotz der corona-bedingten Herausforderungen in der Startphase des Projekts, wurden zwischen den beteiligten Projektpartnern schnell sinnvolle Formen der Zusammenarbeit gefunden. Um die Übersicht der geleisteten Arbeiten zu gewährleisten, soll auf die drei Arbeitspakete individuell eingegangen werden.

1. Konzeptionierung des KI-Services „Smart Use“ und Integration in das Transferkonzept  
Zur Entwicklung des Smart-Use-Service wurde zunächst eine detaillierte Ist-Analyse der bestehenden Geschäftsmodelle von HELLER durchgeführt. Hierbei wurden drei beispielhafte Geschäftsvorfälle identifiziert, in Business Model Canvases überführt und ihre gegenseitigen Abhängigkeiten analysiert. Parallel dazu erfolgte eine umfassende Systemanalyse des CNC-ProfiTrainers, welcher als technischer und didaktischer Demonstrator im Projekt eingesetzt wird. Aufbauend auf diesen Analysen wurde der Smart-Use-Service definiert, wobei dessen Konzeption auf Basis einer fundierten Anforderungsanalyse aufgesetzt wurde und wirtschaftliche, technologische, didaktische sowie nutzerbezogene Aspekte berücksichtigt wurden.

Für den Smart-Use-Service wurde anschließend ein entsprechendes Geschäftsmodell entwickelt und ebenfalls in einem Business Model Canvas abgebildet. Dieses neue Geschäftsmodell wurde in die bestehende Geschäftsmodell-Landschaft von HELLER integriert, wobei die Wechselwirkungen zwischen dem etablierten und dem neuen Geschäftsmodell ergänzt wurden.

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde die Expertise der KompAKI-Angebote für die Qualifizierung von HELLER Mitarbeitern in Richtung KI genutzt. Bei der Durchführung eines Workshops aus dem KompAKI-Projekt mit rund 15 Mitarbeitern von HELLER wurden weitere Ideen für Einsatzgebiete von künstlicher Intelligenz für Smart Use Cases bei HELLER erarbeitet. Diese wurden außerhalb des Forschungsprojekts im Rahmen der Unternehmensstrategie weiterentwickelt und auf der AMB 2024 bezüglich Kundenresonanz getestet. Obwohl die genutzten Datengrundlagen und Auswertungsmechanismen stark unterschiedlich sind, wäre die Entwicklung ohne die Erkenntnisse und Grundlagen aus KompAKI wesentlich langsamer „aus den Startblöcken“ gekommen.

2. Umsetzung des KI-basierten Services am Beispiel des CNC-ProfiTrainers  
Im Rahmen der Umsetzung des KI-basierten Services am CNC-ProfiTrainer wurde in enger



Nach Abschluss des Versuchsaufbaus wurden gezielte Versuchsreihen durchgeführt, um eine umfassende Datenbasis für das zu entwickelnde KI-Modell zu generieren. Dabei kamen unterschiedliche Materialien zum Einsatz und künstlich eingebrachte Fehlstellen dienten der gezielten Simulation von Anomalien. Die aufgezeichneten Audiodaten bildeten die Grundlage für die Entwicklung und das Training des KI-Modells.

3. Validierung und Analyse der Auswirkungen auf Kundennutzen und Maschinenbedienenden  
Zur Evaluierung des Einflusses des Smart-Use-Service auf den Kundennutzen und die Maschinenbedienenden wurde von der h\_da eine choice-based Conjoint-Analyse (CBC) durchgeführt. Der im Teilprojekt entwickelte Fragebogen wurde durch Testbefragungen mit Marktverantwortlichen bei HELLER validiert. Anschließend wurde die CBC in einem Panel der mit 1370 Teilnehmern präsentiert. Nach Filterung auf die gewünschte Zielgruppe und weiteren Qualitätsmerkmalen wurden 245 Antworten in die Auswertung aufgenommen. Diese Analyse ermöglichte eine differenzierte Kosten-Nutzen-Bewertung der einzelnen Funktionskomponenten des Smart-Use-Service. Auf Basis der Ergebnisse wurde sowohl eine „optimale“ Konfiguration der Funktionskomponenten als auch eine angemessene Preisgestaltung für den Service abgeleitet.

## II.4 Erzielte Ergebnisse

Ein zentrales Ziel für HELLER im KompAKI-Projekt war der Einsatz von KI-Technologien im Unternehmen, sowohl in der Lehr- und Lernfabrik als auch zur Weiterentwicklung des CNC-Profitrainers. Innerhalb der Projektarbeit wurden Auszubildende aktiv einbezogen, wodurch sie die Möglichkeit erhielten, KI-Anwendungen direkt kennenzulernen und ihre Akzeptanz gegenüber solchen unterstützenden Technologien zu steigern. Vorbehalte aller beteiligten Mitarbeiter gegenüber neuen Technologien waren nicht festzustellen. Unsere kooperative Vorgehensweise im Projekt sowie der Ansatz, Technologie zur Erweiterung menschlicher Fähigkeiten zu nutzen, führten dazu, dass die Beteiligten auch außerhalb von KompAKI eigenständig weitere Schritte im Bereich KI-Technologien unternahmen und Aufgaben nach Abschluss ihrer Ausbildung mit künstlicher Intelligenz bearbeiteten. Die im Forschungsprojekt gewonnenen Erfahrungen und die erfolgreiche Wissensvermittlung ermöglichten innovative Lösungen in anderen Kontexten und wurden als moderne Inhalte in die Ausbildung zukünftiger Fachkräfte in der Lehr- und Lernfabrik integriert.

1. Arbeitspaket: Konzeptionierung des KI-Services „Smart Use“ und Integration in das Transferkonzept

Im Rahmen des Arbeitspakets wurden digitale Services in drei Geschäftsbereichen anhand von Business Model Canvases systematisch analysiert und daraufhin Smart Use Services entwickelt. Im Hinblick auf den CNC-Profitrainer haben die Projektbeteiligten umfassende Diskussionen zu geeigneten Anwendungsfällen geführt und diese anschließend mit weiteren internen Stakeholdern abgestimmt. Die Entscheidung fiel schließlich zugunsten einer kosteneffizienten, audiobasierten Anomaliedetektion für Bearbeitungsprozesse, die ohne Eingriffe in die sicherheitsrelevante Maschinensteuerung auskommt und in den folgenden Schritten prototypisch für den CNC-Profitrainer umgesetzt wurde.

Ein weiteres Augenmerk waren die Wechselbeziehungen zwischen den bisherigen Geschäftsmodellen und dem neuen Smart Use Service, die in zahlreichen Diskussionen bei HELLER abgestimmt wurden. Damit konnte gezeigt werden, dass die Business Canvas Methode als Basis für die Integration von KI-Technologie in bestehende Leistungsangebote in mittelständigen Industrieunternehmen geeignet ist.








<b>Key Partners</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kunde zugleich Partner aufgrund notwendiger Zusammenarbeit</li> <li>• KI-Expertise (wenn nicht im eigenen Unternehmen)</li> </ul>	<b>Key Activities</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensorkonzept ohne Maschinenzugriff</li> <li>• Daten erfassen, labeln, auswerten</li> <li>• KI-basierte Anomalieerkennung entwerfen und implementieren</li> </ul>	<b>Value Propositions</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anomaliedetektion</li> <li>• Variante 1: Bediener überprüft Anomalie ohne externe Störungen auszuschließen</li> <li>• Variante 2: Bediener überprüft nach Ausschluss externer Störungen</li> <li>• Bezug zur Lern-/Lehrfabrik &amp; Akzeptanzerhöhung: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Daten für Schulung zur Geräuscentwicklung nutzen</li> <li>• Kontinuierliches, kundenspezifisches Modell-Re-Training</li> </ul> </li> </ul>	<b>Customer Relations</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kundenbeziehung über Kauf hinaus (regelmäßige Wartung / Aktualisierung des KI-Modells)</li> </ul>	<b>Customer Segments</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maschinenbedienende des anwendenden Unternehmens</li> </ul>
<b>Cost Structure</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensorik für Nachrüstung der IT-Infrastruktur (Server, Rechenkapazität, ...)</li> </ul>		<b>Revenue Streams</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Monatliche Zahlung für zusätzliche Dienstleistung → gleichbleibende Zahlungsströme</li> <li>• Keine nutzungsabhängige Abrechnung möglich, da keine Zustandsüberwachung</li> </ul>		

Abbildung 4: Business Model Canvas des Smart Use Service

Als Ergebnis dieses Arbeitspakets wurde ein Integrations- und Transferkonzept entwickelt, das sowohl die Einbindung des Smart-Use-Service in den CNC-ProfiTrainer als auch dessen Nutzung im Ausbildungs- und Schulungskontext adressiert.

## 2. Arbeitspaket: Umsetzung des KI-basierten Services am Beispiel des CNC-ProfiTrainers

Im Rahmen der Implementierung und Validierung des Smart Use Case wurden diverse Aufnahme- und Auswertungskonzepte konzipiert und geprüft. Zur Sicherstellung einer konstanten Audioqualität im Bearbeitungsraum des CNC-Profitrainers wurde eine speziell auf die Maschine abgestimmte, 3D-gedruckte Halterung entwickelt, die das eingesetzte Mikrofon vor Spänen und anderen Fremdkörpern schützt. Die Halterung wurde direkt am Maschinenständer neben der Spindel montiert, wodurch ein gleichbleibender Abstand zwischen Bearbeitungsstelle und Mikrofon gewährleistet werden konnte. In einem Vergleich mit einer Standardhalterung an der Schutzverkleidung der Maschine erwies sich diese Speziallösung jedoch als weniger geeignet. Der Grund lag in der erhöhten Aufnahme von Fahrgeräuschen durch die Nähe zum Ständer, was zu mehr Störgeräuschen führte als bei einer Mikrofonpositionierung am Rand der Maschine. Aus diesem Grund wurde die Spezialhalterung nicht weiterverfolgt.

Kernergebnis des Arbeitspakets war die Erzeugung von Trainingsdaten für den Smart Use Case. Dafür wurden drei Merkmale zur Erkennung durch die KI ausgewählt: verschlissenes Werkzeug, Fehlstellen im Werkstück („Lunker“) und Materialart.



Abbildung 5: Detailaufnahme "gutes" Werkzeug

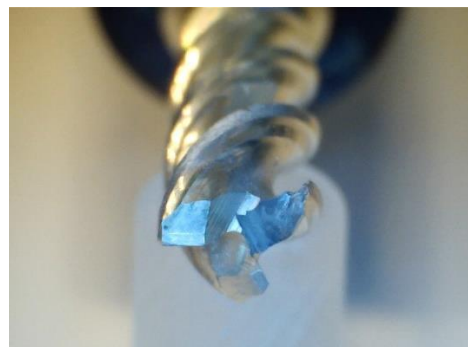


Abbildung 6: Detailaufnahme "verschlissenes" Werkzeug

Um den Einfluss der jeweiligen Maschine zu erfassen, fanden die Tests an zwei verschiedenen CNC-Profitrainern statt. Zunächst sollte hier auf eine etablierte Aufnahme- und Analysesoftware

zurückgegriffen werden. Das Produkt Phyphox ist an der RWTH Aachen entstanden und liefert bereits zahlreiche Möglichkeiten, um beispielsweise Frequenzen mit dem Smartphone zu messen und auszuwerten. Aufgrund der Vorverarbeitung der Daten in Phyphox, die eventuell bereits wesentliche Soundinformationen „glätten“, haben die Projektbeteiligten den Einsatz von Phyphox verworfen und als Ausgangsbasis für die KI-Analyse normale Audiodateien mit der App „Sprachrekorder – Urecorder“ erzeugt (Aufnahmeformat: wav, Mikrophon: Haupt (unverarbeitet), Abtastrate: 44.1kHz, Encoder-Bitrate: 192kbps, Audiospur: Stereo).

Um die einzelnen Bearbeitungsvorgänge erkennen zu können, wurde zudem ein CNC-Programmmodul geschrieben, das durch die Variation der Spindeldrehzahl eine „Erkennungsmelodie“ zwischen die Fräsoperationen eingefügt hat. Diese Soundsequenz konnte dann zur Trennung der einzelnen Bearbeitungen genutzt werden.

Insgesamt entstanden etwa 20 GB Trainingsdaten bei HELLER, die anschließend im KI-Demonstrationsprogramm der h\_da ausgewertet wurden. Das Ergebnis der Versuche mit dem Demonstrationsprogramm können folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Die Qualität von Mikrofonen aus Standardhandys reicht zur KI-Analyse im geplanten Anwendungsfall aus
- Die Soundsignatur von verschiedenen Maschinen (des CNC-ProfiTrainers) hat eine größere Abweichung als erwartet, dadurch wird die Verallgemeinerung der Datensätze auf alle Maschinen eines Typs unwahrscheinlich
- Die Lernmenge funktioniert für recht eng gesteckte Bearbeitungsparameter (gleiche Bearbeitung, gleiches Werkzeug). Eine Verallgemeinerung auf beliebige Bearbeitungsaufgaben ist insbesondere bei 5-Achs-Maschinen aufgrund der vielfältigen Positionierung und Eingriffswinkeln der Werkzeuge mit einem überproportionalen Aufwand zur Lerndatenerzeugung verbunden. Damit ist die Nutzung auf normalen Produktionsmaschinen unrealistisch.

Darüber hinaus entwickelte HELLER gemeinsam mit der TU Darmstadt ein User Interface für den Smart Use Service und unterstützte die Evaluation mit seiner Industriekompetenz. Dazu wurde ein didaktisches Konzept zur Integration des Smart Use Services erarbeitet und ein HMI prototypisch entwickelt und validiert.



Abbildung 7: Auswertungstool mit erkannten Merkmalen (h\_da)

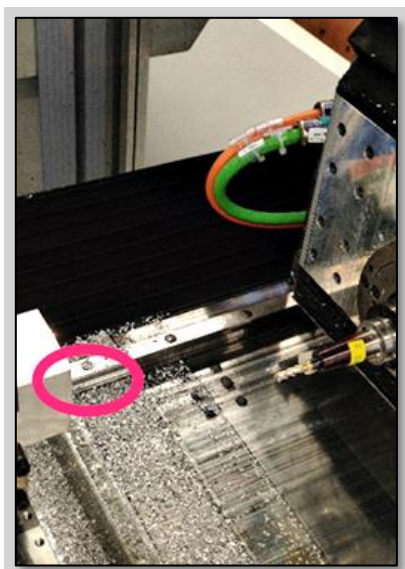


Abbildung 8: Durchführung der Versuche



Abbildung 9: Dashboard Prototyp für die Integration in die Steuerung (IAD)

Als Ergebnis dieses Arbeitspakets ist eine ausführbare Softwareapplikation entstanden, die eine Analyse von Audiodateien, die automatische Identifikation der verwendeten Materialien sowie die Detektion und Klassifizierung potenzieller Anomalien ermöglicht. Dennoch wurden die Grenzen dieses Ansatzes klar aufgezeigt. Die notwendige Lernmenge an Audio-Daten für einen allgemeinen Einsatz in industriellen Bearbeitungszentren ist nicht effizient zu erzeugen. Der eingeschlagene Weg scheint anderen Ansätzen wie z.B. der Nutzung der vorhandenen Steuerungsdaten unterlegen und wird daher außerhalb des Forschungsprojekts nicht weiterverfolgt.

### 3. Arbeitspaket: Validierung und Analyse der Auswirkungen auf Kundennutzen und Maschinenbedienenden

Zur Absicherung des Kundennutzens der Smart Use Cases hat die h\_da für das Teilprojekt eine Choice-based Conjoint-Analyse durchgeführt. HELLER hat die Vorbefragung (Self-Explicated-Methode (SEM) im eigenen Haus mit Mitarbeitenden mit Kundenkontakt durchgeführt, um die Relevanz der möglichen Smart Use Cases und deren Eigenschaften sowie des erwarteten Servicenutzens zu erarbeiten.

Darauffolgend war HELLER an der Entwicklung des Fragebogens für die Hauptbefragung intensiv involviert, die die h\_da mittels Choice-based Conjoint-Analyse (CBC) in einem Panel durchgeführt hat. Die abgefragten Eigenschaften mit dem höchsten Nutzenwertanteil waren eine hohe Genauigkeit, der Funktionsumfang der Qualitätsüberwachung sowie die Nachvollziehbarkeit der KI-Entscheidung.

Eine weitere Erkenntnis aus der CBC ist die Zahlungsbereitschaft für den Service, die auf Basis der Maschinenstunden abgefragt wurde. Hier sind die befragten Unternehmen bereit, ca. 10% Aufpreis auf den Maschinenstundensatz für eine mitlaufende Qualitätsaussage aufzuwenden. Dies kann als erste Näherung für einen Gestaltungsrahmen für die Monetarisierung von Smart Use Cases angesehen werden.

#### Optimale Produktkombination → Gesamte Stichprobe (n= 245)



Abbildung 10: Auswertungsbeispiel: Optimale Produktkombination (h\_da)

## II.5 Darstellung des während des Vorhabens bekannt gewordenen Fortschritts auf diesem Gebiet bei anderen Stellen

Die Nutzung von KI-Tools im industriellen Einsatz ist durch die Veröffentlichung von Large Language Models (LLMs) in der allgemeinen Lebensrealität angekommen. Berührungängste von Mitarbeitern sind einer Neugier gewichen, Tools mit KI-Bezug sind häufig als Open Source verfügbar und mit dem

steigenden Interesse sind weitere Zusatztools entstanden, die den Startaufwand für die Nutzung von KI stark reduziert.

Die in diesem Teilprojekt geleisteten Arbeiten haben jedoch vor allem auf die Geschäftsmodelle und den Kundennutzen von Smart Services abgezielt. Die dafür erarbeiteten Tools und Erkenntnisse haben durch den technischen Fortschritt der KI-Algorithmen sogar noch an Wichtigkeit gewonnen, da weitere Anwendungsfälle möglich werden und mit entsprechender Systematik auf wirtschaftlichen Nutzen überprüft werden müssen.

## II.6 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit der Ergebnisse

Wie oben bereits ausgeführt, hat sich der Forschungsansatz, eine kostengünstige KI-Anwendung für den CNC-ProfiTrainer in die Praxis zu bringen, nicht realisieren lassen. Die Datenerzeugung und -validierung der akustischen Lösung hat sich als zu aufwändig herausgestellt. Angeregt durch die Forschungsarbeit wurden jedoch Lösungen konzipiert, die mit den Daten der Maschinensteuerung mit Hilfe von KI-Algorithmen differenzierte Aussagen zur Bearbeitungsqualität oder Unterstützung beim Rüsten der Maschine treffen können. Durch die Nutzung von Maschinendaten konnte der Aufwand zur Erzeugung von Beispieldaten massiv reduziert werden. Eine systematische Suche nach potenziellen Einsatzmöglichkeiten im Produktionsumfeld wurde durchgeführt (siehe Abbildung 11). Auf Machine Level wurden zusätzlich zur Unterstützung des Mitarbeiters während des Bearbeitungsprozesses Anwendungspotenziale im Setup und nach Beendigung des Bearbeitungsprozesses herausgearbeitet. Auf Factory Level ist zusätzlich ist der Einsatz von Künstlicher Intelligenz für eher betriebswirtschaftlich optimierende Zielgruppe denkbar. Durch KompAKI angeregt wurden weitere Entwicklungsprojekte für Smart Use Cases angestoßen, deren Resonanz auf der AMB 2024 getestet wurden. Als weitere Entwicklungsstufe wurde ein KI-basiertes Produkt entwickelt, das Fragen zur Performance der Bearbeitungsprozesse natürlichsprachig beantworten kann. Diese Lösung wurde im Herbst 2025 in die Preisliste für HELLER Industriemaschinen aufgenommen.

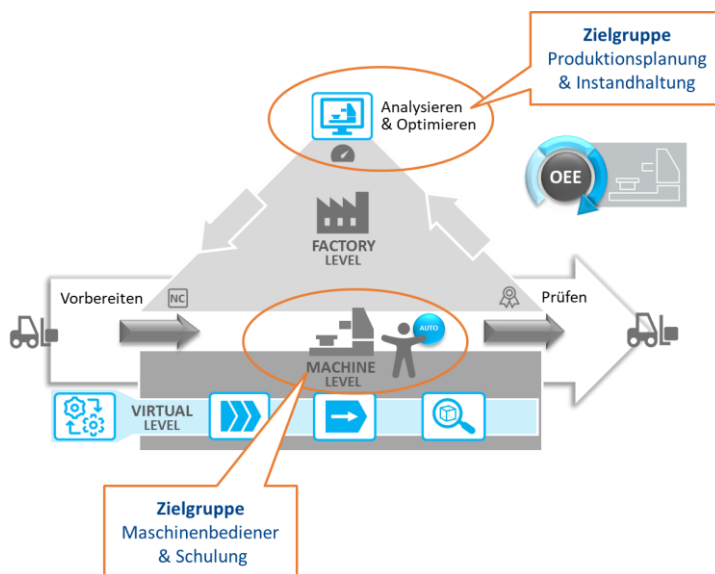


Abbildung 11: Systematisierung möglicher Ebenen der KI-Nutzung

Im Zeitraum des Projekts wurde eine neuen Generation des CNC-ProfiTrainers namens Tokn konzipiert und entwickelt. KI-Anwendungsfälle wurden jedoch nicht realisiert. Hier wurde in der internen Bewertung die Entwicklungskapazität zugunsten von Anwendungen im Bereich Digital Twins verschoben, die als fachlich attraktiver für die Auszubildenden, Studierenden und weiteren Fachkräfte unserer Lehr- und Lernfabrik angesehen wurden.

Das erlangte Wissen über KI-Anwendungen wurde jedoch in das Lehrkonzept für unsere Auszubildenden integriert, so dass Basiswissen über mögliche Anwendungsfälle und die Breite der Use Cases für zukünftige Generationen weitervermittelt wird.

## **II.7 Zusammenarbeit mit anderen Stellen außerhalb des Verbundprojektes**

Im Rahmen unserer kontinuierlichen Arbeit in Industrieverbänden haben wir die Erkenntnisse aus diesem Forschungsprojekt bspw. in Veranstaltungen des VDMA eingebracht und werden dies auch weiterhin tun. Da sich in der KI die Anwendungsschwerpunkte jedoch aktuell stark auf die Nutzung und Weiterentwicklung von Large Language Modellen konzentriert, sind die im Forschungsprojekt verwendeten Machine Learning Ansätze jedoch aktuell nicht unbedingt im Fokus der Aufmerksamkeit. Als Anschauungsobjekt für einen maschinenbauspezifischen Anwendungsfall sind die gewonnenen Erfahrungen aber sehr gut geeignet.

## **II.8 Veröffentlichungen, Vorträge Referate, etc.**

Beteiligung an der Abschlusspublikation KompAKI, Vortrag beim Treffen der VDMA IT-Leiter

## **II.9 Literaturverzeichnis**

Aufgrund des Praxishintergrunds der Arbeiten nicht vorhanden