

Projektträger für das



Schlussbericht vom 24.03.2026

zum IGF-Vorhaben 01IF22669N

Thema

Digitalisierung von Prozessen der Massivumformung durch Retrofit (DiReProFit)

Berichtszeitraum

01.12.2022 bis 30.09.2025

Forschungsvereinigung

Forschungsgesellschaft Stahlverformung (FSV) e.V.

Goldene Pforte 1

58093 Hagen

Forschungseinrichtung(en)

IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gemeinnützige GmbH

Hollerithallee 6

30419 Hannover

LFM – Labor für Massivumformung, Fachhochschule Südwestfalen

Frauenstuhlweg 31

58644 Iserlohn

Forschungsgesellschaft
Stahlverformung e. V.



Inhaltsverzeichnis

1	Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse	3
1.1	Arbeitspaket 1: Erfassung wirtschaftlicher und technischer Potentiale (IPH und LFM)	4
1.2	Arbeitspaket 2: Analyse und Erstellung von Retrofitkonzepten (LFM und IPH)	7
1.3	Arbeitspaket 3: Retrofit-Durchführung und Aufbereitung der Messdaten (LFM und IPH)	10
1.4	Arbeitspaket 4: Entwicklung der KI-Algorithmen (IPH)	15
1.5	Arbeitspaket 5: Entwicklung Softwaredemonstrator (IPH und LFM)	18
1.6	Arbeitspaket 6: Dokumentation und Wissenstransfer (IPH und LFM)	20
2	Verwendung der Zuwendung	21
3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	22
4	Darstellung des wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Nutzens der erzielten Ergebnisse insbesondere für KMU sowie ihres innovativen Beitrags und ihrer industriellen Anwendungsmöglichkeiten	23
5	Wissenstransfer in die Wirtschaft	24
6	Durchgeführte Transfermaßnahmen	25
7	Geplante spezifische Transfermaßnahmen nach der Projektlaufzeit	26
8	Literaturverzeichnis	27

1 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Zusammenfassung

Das Forschungsprojekt „DiReProFit“ verfolgte das Ziel, einen Softwaredemonstrator zu entwickeln, der Unternehmen – insbesondere KMU – dabei unterstützt, mit geringem Aufwand und ohne spezialisiertes Vorwissen zur Prozessdigitalisierung das Aufwand-Nutzen-Verhältnis möglicher Retrofit-Vorhaben im eigenen Maschinenpark zu bewerten. Ausgangspunkt war der Bedarf vieler Unternehmen an praxistauglicher Unterstützung bei der Digitalisierung von Anlagen und Prozessen, da eine prozess- und herstellerunabhängige, automatisierte Retrofit-Beratung bislang nicht verfügbar war.

Zu Beginn sah das Projekt vor, Prozessabweichungen über eine Fehlermustererkennung in Maschinensteuerungsdaten zu identifizieren und darauf aufbauend mithilfe KI-basierter Verfahren Retrofit-Konzeptionen abzuleiten. Der ursprüngliche Ansatz basierte auf der Erwartung, Messdaten und dokumentierte Fehlerbilder aus mehreren Prozesslinien der am PA beteiligten Unternehmen nutzen zu können. Auf dieser Basis sollte eine KI typische Fehlerbilder automatisch erkennen, um geeignete Retrofit-Maßnahmen vorzuschlagen. Während der Projektbearbeitung zeigte sich jedoch, dass zentrale Annahmen des ursprünglichen Vorgehens nicht vollständig zutreffend waren. Daher wurde der methodische Ansatz in enger Abstimmung mit dem Projektbegleitenden Ausschuss (PA) weiterentwickelt und angepasst.

Mehrere Faktoren führten dazu, dass der Umfang der verfügbaren Daten für das Training der KI geringer ausfiel als ursprünglich vorgesehen:

- a) Zwei der sechs produzierenden Unternehmen im PA hatten infolge der Verschiebung des Projektbeginns von 2020 (Antragsphase) auf 2022 bereits eigenständig Maßnahmen zur Analyse ihrer Datenbestände hinsichtlich Fehlererkennungs- und Digitalisierungspotenziale eingeleitet. Da sie hierbei wettbewerbsrelevante Informationen berührt sahen, konnten diese Unternehmen ihre Daten nicht für das Forschungsvorhaben zur Verfügung stellen.
- b) Drei weitere Unternehmen waren aufgrund der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und einer daraus resultierenden Verschiebung interner Prioritäten nicht in der Lage, zusätzliche Prozess- oder Retrofitdaten zur Verfügung zu stellen.
- c) Ein weiteres Unternehmen verfügte zu einem früheren Retrofit einer Steuerungsanlage über keine detaillierte Dokumentation. Da eine Rückverfolgbarkeit der im Projekt erzielten Forschungsergebnisse auf das verbleibende Schmiedeunternehmen möglich gewesen wäre, konnten auch hier nur wenige Produktionsdaten offengelegt werden.

Die Forschungseinrichtungen bemühten sich daraufhin, den Partnerkreis gezielt zu erweitern. Durch die Einbindung von branchennahen Zuliefer- und Dienstleistungsunternehmen, darunter die nokra Optische Prüftechnik und Automation GmbH, die D4TENSCHMIE.DE GmbH und die Surplex GmbH, konnte die fachliche Kompetenz des PA insbesondere in den Bereichen Anlagenperipherie und Sensortechnik erweitert werden.

Auf dieser Grundlage wurde ein alternativer, datenrobuster Lösungsansatz entwickelt, im PA abgestimmt und beschlossen, der alle Projektziele weitestgehend erreicht. Die grafische Darstellung automatisierter Potenzialanalysen wurde bei der neuen Herangehensweise gewandelt zu einer textbasierten, kontextabhängigen Empfehlungsausgabe, was eine präzisere, fallbezogene Beratung mit verringerter Möglichkeit zur

Fehlinterpretation ermöglicht. Die angepasste methodische Vorgehensweise zur Erreichung der Forschungsziele wird im Abschnitt 1.4 zu Arbeitspaket 4 detailliert beschrieben.

Die Ergebnisse des Projekts sind:

- eine Übersicht über Sensorsysteme, die zur Digitalisierung von Anlagen verwendet werden können,
- ein Softwaredemonstrator zur Ausgabe von Empfehlungen für das Vorgehen sowie die Planung, Umsetzung und Dokumentation bei Retrofitvorhaben auf Basis von Fachinformationen,
- ein Praxisbeispiel für ein Digitalisierungsvorhaben einer Schmiedelinie.

Das Projekt verdeutlicht, dass Unternehmen auf Grundlage der erarbeiteten Ergebnisse erste Anhaltspunkte und Impulse für eigene Retrofitvorhaben ableiten können. Dadurch erhalten insbesondere KMU eine wertvolle Orientierungshilfe – sowohl zur Identifikation geeigneter Retrofit-Maßnahmen als auch zur systematischen Planung eigener Projekte. Die öffentlich zugänglichen Projektergebnisse fördern eine breite Anwendung und Weiterentwicklung des Ansatzes. Langfristig trägt dies dazu bei, KMU für den Einsatz des Verfahrens – sowohl im Kontext dieses Projekts als auch für vergleichbare, individuell angepasste Anwendungen – zu gewinnen und nachhaltig zu unterstützen.

Auf den folgenden Seiten werden die durchgeführten Arbeitsschritte und die in den einzelnen Arbeitspaketen (AP) erzielten Ergebnisse dargelegt. Die Ergebnisse können auf der Website <https://direprofit.iph-hannover.de> eingesehen werden. Der Software-Code sowie der Nutzerleitfaden sind auf GitHub veröffentlicht (<https://github.com/iph-hannover/direprofit>).

1.1 Arbeitspaket 1: Erfassung wirtschaftlicher und technischer Potentiale (IPH und LFM)

Ziel: Das Ziel des APs ist es, Digitalisierungspotentiale mittels Retrofitting und die dafür notwendigen Schnittstellen zu ermitteln und zu analysieren.

Durchgeführte Arbeiten:

- Fachgespräche mit beteiligten Unternehmen
- Katalogisierung von Sensoren und Messsystemen
- Erfassung und Analyse der Auswirkungen von Digitalisierungsmaßnahmen auf Wirtschaftlichkeit und Prozessqualität

Zu Beginn des Forschungsprojekts wurde Kontakt zu relevanten Akteuren aus unterschiedlichen Verantwortungsbereichen im Kontext der Produktion, Anlagenherstellung und -nutzung aufgenommen. Diese umfassten sowohl Qualitätssicherungsmanager in produzierenden Unternehmen als auch Sensorspezialisten und Digitalisierungsexperten im Bereich der Zuliefererindustrie und Produktmanager im Bereich der Anlagenhersteller. In Einzelworkshops sind dabei die Erfolgspotenziale (teil-)digitalisierter Anlagen auf Unternehmensziele und -bereiche hin untersucht worden. In diesen strukturierten Fachgesprächen wurden sowohl die Key Performance Indicators (Unternehmens-Leistungskennzahlen) der Branche sowie Kostenstrukturen und Organisationsbereiche der Unternehmen auf mögliche Verbesserung durch digitalisierte Produktionsmittel hin untersucht. Aufgrund der Rückmeldung aus diesen Gesprächen konnte eine Digitalisierungsstrategie für die Branche erstellt werden. Dazu wurden sowohl Handlungsfelder bezüglich der zu erwartenden Auswirkungen von Digitalisierungsmaßnahmen auf ihre Wirtschaftlichkeit und Prozessqualität eingeordnet als auch der bisher in diesen Bereichen erreichte Digitalisierungsgrad in den einzelnen Unternehmen

gegenübergestellt. Die Handlungsfelder mit den größten erwartbaren Auswirkungen und den bisher am wenigsten digitalisierten Prozessen wurden als Untersuchungsgegenstand fokussiert.

Parallel dazu wurde eine Übersicht über die zur Digitalisierung von Produktionsprozessen verwendbaren Sensorarten und Datenerfassungsvorrichtungen bzw. Messsysteme sowie deren Schnittstellen erstellt.

Erzielte Ergebnisse:

In den Einzelworkshops wurden unterschiedliche Faktoren bestehend aus CO₂-Footprint, der Gesamtanlageneffektivität (OEE – Overall Equipment Effectiveness) sowie der Stückkostenstruktur auf ihre Bedeutung der Digitalisierung auf diese Faktoren sowie die Einschätzung über die eigene Position der Unternehmen untersucht. Die Ergebnisse wurden in Anlehnung an das Erfolgsfaktoren-Portfolio nach Gausemeier [1] in einer Matrix dargestellt. In dieser Darstellung werden die Faktoren anhand ihrer Position in drei unterschiedliche Bereiche eingeteilt. Faktoren mit einer niedrigen Bedeutung bei einer hohen Einschätzung der eigenen Positionen der teilnehmenden Unternehmen werden als überbewertete Faktoren definiert und können auf einen falschen Ressourceneinsatz hinweisen. Faktoren, denen eine hohe Bedeutung zugesprochen wird bei gleichzeitiger niedriger Einschätzung der eigenen Position werden als kritische Faktoren definiert. Bei diesen Faktoren besteht Handlungsbedarf.

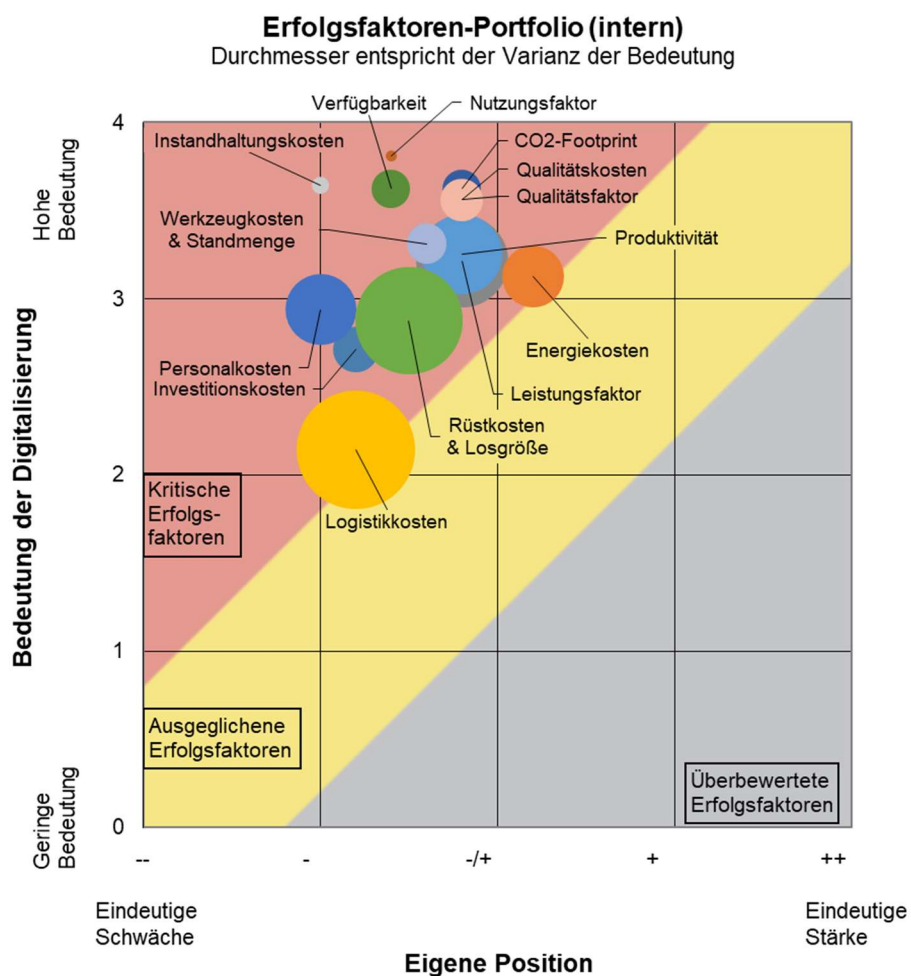


Abbildung 1: Bedeutung des Digitalisierungsgrades für Erfolgsfaktoren (Durchmesser spiegelt die Varianz der Bedeutung wider)

Abbildung 1 zeigt die Einordnung der untersuchten Faktoren in die jeweiligen Bereiche. In dieser Darstellung spiegelt der Durchmesser der Faktoren die Varianz der Einschätzung über die Bedeutung wider.

Hieraus geht hervor, dass vor allem bei den Faktoren CO2-Footprint, Maschinenverfügbarkeit, Qualität, Nutzungsfaktor des OEE, Investitionskosten sowie den Energiekosten Einigkeit über die Wichtigkeit der Datenlage herrscht.

In Abbildung 2 werden die gleichen Daten dargestellt, jedoch verdeutlicht der Durchmesser hierbei die Varianz der eigenen Positionen. Hierbei ist zu sehen, dass es bei den Faktoren eine viel größere Varianz der einzelnen Faktoren gibt. Dies bedeutet, dass die Einschätzungen der eigenen Positionen viel heterogener sind.

Die Ergebnisse zeigten, dass nach den (internen) Vorgaben der beteiligten Unternehmen Anlagenoptimierungen in erster Linie der Verlängerung der Lebensdauer dienen. Nachrangig verfolgten sie gleichermaßen die Ziele der Kostenreduktion, der Qualitätsverbesserung sowie der Erhöhung der Betriebssicherheit. Bei den identifizierten Handlungsfeldern lagen die größten Potenziale digitaler Retrofitmaßnahmen in der Steigerung der Produktqualität und in der Reduzierung von Stillstandzeiten. Wesentliche Effekte ergeben sich der Untersuchung zufolge insbesondere in den Bereichen Qualitätskosten, Energiekosten und Gesamtanlageneffektivität.

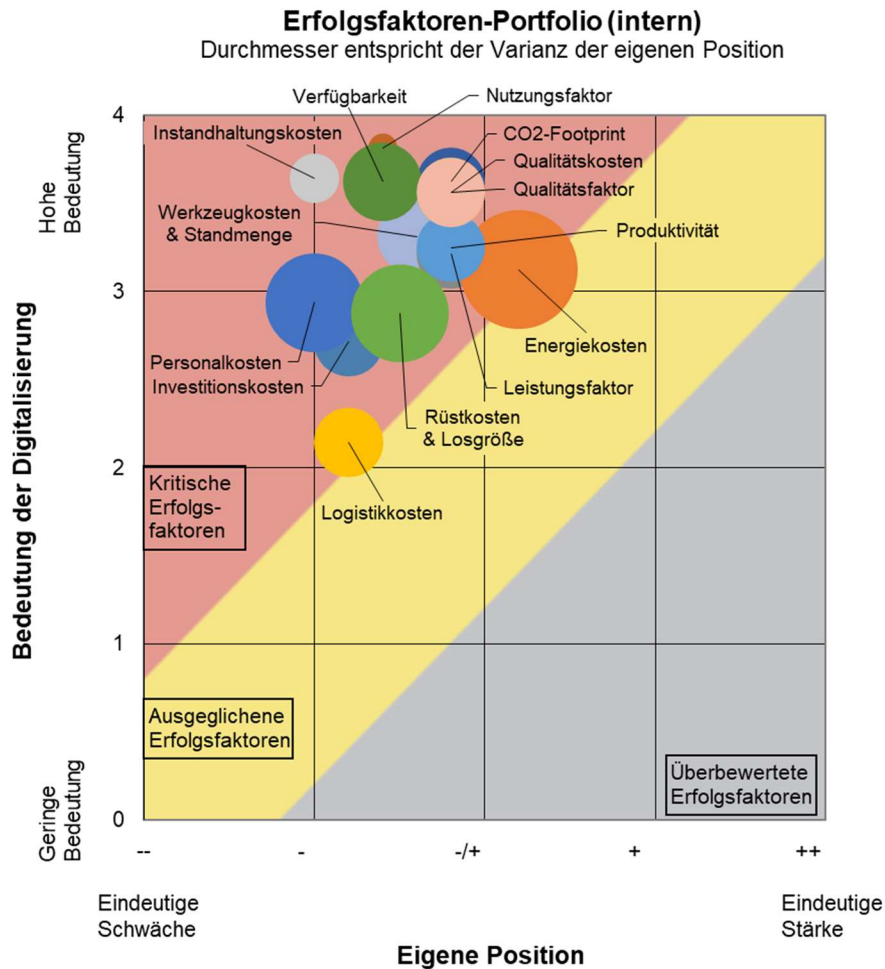


Abbildung 2: Bedeutung des Digitalisierungsgrades für Erfolgsfaktoren (Durchmesser gibt Varianz der eigenen Position wieder)

Vor dem Hintergrund der Energiekrise und der gestiegenen Anforderungen an die Dokumentationspflichten energieintensiver Unternehmen gemäß EnEg, erwies sich zudem die präzise Erfassung und Analyse von Energieverbräuchen – differenziert nach Kunden, Produktsegmenten und Produktmix – als zunehmend

bedeutsam. Der PA empfahl nach Bewertung dieser Ergebnisse eine vertiefte Untersuchung der Digitalisierungspotenziale von Bestandsanlagen, wobei aufgrund der vorhandenen Produktionsmittel im PA ein Schwerpunkt auf Gesenkschmiedeprozesse gelegt wurde. Es konnte festgestellt werden, dass Sensoren über herstellerseitig angebotene Messsysteme mit passenden Messprinzipien bzw. Sensorschnittstellen beschafft und kosteneffizient über industrielle Kleinrechner eingebunden, ausgelesen und ausgewertet werden können. Hierfür stehen verschiedene Open-Source-Werkzeuge (InfluxDB, Grafana u.a.) zur Verfügung, deren Einsatz jedoch den Aufbau einer geeigneten IT-Infrastruktur und eine regelmäßige Wartung durch geschultes Personal erfordert.

Sofern über die reine Erfassung von Sensordaten hinaus eine Anbindung an die Produktionsmittel notwendig war, kamen multimodale Messsysteme zum Einsatz, die mehrere Schnittstellen unterschiedlicher Anlagenhersteller bedienen konnten. Diese Systeme verursachten Investitionskosten beginnend im mittleren fünfstelligen Bereich.

1.2 Arbeitspaket 2: Analyse und Erstellung von Retrofitkonzepten (LFM und IPH)

Ziel: Die Zielsetzung von AP 2 ist die Entwicklung individueller Konzepte für Maschinen und Prozesse, um eine geeignete Retrofitlösung (AP 3) zu realisieren.

Durchgeführte Arbeiten:

- Literaturrecherche
- Expertendialoge und Ortsbesichtigungen
- Aufnahme der örtlichen Herausforderungen für die Retrofitkonzepte
- Erstellung von Retrofitkonzepten

Unter Berücksichtigung der in Arbeitspaket 1 erzielten Ergebnisse und der identifizierten Herausforderungen digitaler Retrofitmaßnahmen wurden in enger Abstimmung mit den Fachvertretern des PA konkrete Retrofitkonzepte für drei exemplarische Anwendungsszenarien entwickelt:

Retrofit I: Steigerung der Gesamtanlageneffektivität einer Schmiedelinie durch die automatisierte Erfassung der Stückzahlen nach jedem Prozessschritt.

Retrofit II: In-Line-Qualitätsüberwachung einer Schmiedeserie durch Heißmessung der noch nicht thermisch ausgeglichenen Werkstücke zur frühzeitigen Identifikation von Prozessinstabilitäten und Werkzeugverschleiß.

Retrofit III: Erfassung und Auswertung der Energieverbräuche in den einzelnen Prozessschritten der Schmiedelinie zur Optimierung des initialen Erwärmungsprozesses.

Die erarbeiteten Retrofitkonzepte zielten darauf ab, zentrale Prozessparameter systematisch zu erfassen und gleichzeitig eine Auswahl unterschiedlicher Sensortechnologien zu berücksichtigen. Diese Auslegung ermöglichte es, die in Arbeitspaket 3 erhobenen Prozessdaten im Nachgang auch hinsichtlich der Eignung und Wirtschaftlichkeit verschiedener Messprinzipien zu analysieren. Alle Konzepte wurden im Rahmen der Projektarbeiten vollständig ausgearbeitet und bewertet.

Erzielte Ergebnisse:

Die im Projekt entwickelten Retrofitkonzepte konnten trotz der identifizierten Herausforderungen erfolgreich an einer exemplarischen Schmiedelinie produktionsbegleitend umgesetzt werden. Eine Übersicht der

unterschiedlichen Stationen der Schmiedelinie sowie der Messpunkte zeigt Abbildung 3. Hierbei wird das Rohmaterial über einen Vibrationsförderer der Linie zugeführt. Das Schmiedeteil wird durch einen Induktions-Durchstoßofen auf Schmiedetemperatur erwärmt und über eine Rutsche der Schmiedepresse zugeführt. Im Arbeitsraum der Schmiedepresse wird das Teil mit Hilfe von manueller Handhabung umgeformt und im Anschluss über ein Förderband der Abgratpresse zugeführt. Im Anschluss erfolgt ein erneuter automatischer Transport über ein Förderband in einen Transportbehälter. Infolge der Zuführung der Schmiedeteile von den jeweiligen Pressen auf die Förderbänder kann es zwischen den jeweiligen Stationen durch ein Abspringen der Schmiedeteile zu Materialverlusten kommen, welcher bisher über eine Erhöhung der Anzahl der Rohteile kompensiert wurde. Neben diesem Prozessfehler sollten über den geplanten Retrofit auch eine Erfassung von Geometrieabweichungen sowie die Messung der Temperaturverlaufskurve der Werkstücke im Prozess verfolgbare gestaltet werden, um Maßhaltigkeit und Energieeintrag rückverfolgen zu können.

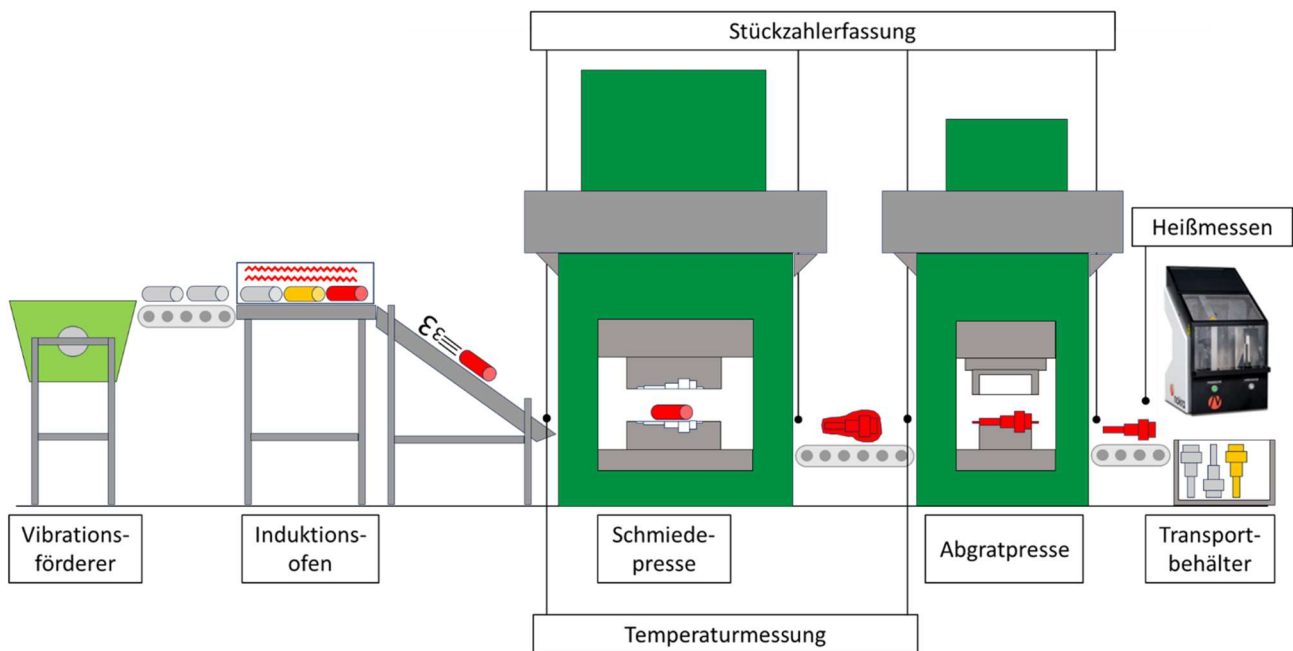


Abbildung 3: Übersicht über die Erfassungsgrößen der Retrofitkonzepte I - III

In Abstimmung mit den Fachvertretern des PA wurde bewusst darauf verzichtet, funktionsändernde Eingriffe in bestehende Steuerungssysteme vorzunehmen. Stattdessen wurden die Sensoren so integriert, dass keine nach Maschinenrichtlinie definierten wesentlichen Veränderungen an den Anlagen erforderlich waren. Dieses Vorgehen trug der Tatsache Rechnung, dass in der Industrie häufig nur unvollständige Dokumentationen zu Bestandsanlagen vorliegen und eine neue Konformitätserklärung häufig vermieden werden soll. Zugleich konnte durch die separate Erfassung der Messdaten und das Auslesen von Steuerungssignalen demonstriert werden, wie sich zeitreihenbasierte Datenquellen in bestehende Betriebsabläufe einbinden lassen. Der Unternehmensstandort, bei dem die Retrofits stattfanden, verfügt nicht über ein integriertes Produktionsleitsystem (MES).

Im Rahmen von Retrofit I wurden an vier Positionen der Schmiedelinie Sensorlösungen zur Erfassung der Werkstücke integriert. Zum Einsatz kamen ein Infrarot-Temperatursensor, ein Laser-Abstandssensor, eine Reflexlichtschranke, eine Thermografiekamera sowie die Erfassung des Auswerfersignals der Maschinensteuerung. Ziel war es, frühzeitig Stückzahlabweichungen (Materialverluste) zu erfassen, die durch das

Abspringen von Schmiedeteilen beim Zuführen auf das Förderband entstehen können. Hierzu wurden unterschiedliche Sensortypen eingesetzt, um die Eignung der jeweiligen Messprinzipien für die Detektion solcher Materialverluste zu untersuchen.



Abbildung 4: Übersicht Prozesslinie (ohne Induktionsofen)



Abbildung 5: Rückansicht Abgratpresse mit Förderstrecke

Das Konzept von Retrofit II war es, nach Abschluss des letzten Umformschritts eine Heißmesszelle mit zwei Zeilensensoren (Laserlichtschnittsensoren zur Triangulationsmessung) eines der PA-Unternehmen einzusetzen, um mittels Pyrometermessung über die Kombination von Referenzmessungen und einem Algorithmus aus den Abmaßen der heißen Werkstücke auf die Kaltmaße zu schließen. Mit einer Genauigkeit von etwa 30 µm konnten so Geometrieabweichungen frühzeitig im Prozess erkannt und Rückschlüsse auf beginnende Gesenkschädigungen gezogen werden. Dies ermöglicht einen rechtzeitigen Werkzeugtausch innerhalb der laufenden Serie und trägt somit zur Einhaltung der Toleranzgrenzen bei.

Bei Retrofit III stand die Erfassung und Analyse der Temperaturverläufe der Schmiedeteile entlang der Schmiedelinie im Mittelpunkt. Ziel war es, das Abkühlverhalten der Werkstücke mit unterschiedlichen Geometrien und Massen zu untersuchen, da Temperaturverluste einen direkten Einfluss auf den Schmiede- und insbesondere den Abgratprozess haben können. Die Messungen wurden unter realen Produktionsbedingungen durchgeführt, die durch starke jahreszeitliche Schwankungen der Hallentemperatur (ca. 30–40 °C im Sommer, 5–10 °C im Winter) geprägt sind und das thermische Verhalten der Bauteile zusätzlich beeinflussen. Da rund 90 % des Energiebedarfs der Schmiedelinie auf Erwärmungs- und Wärmebehandlungsprozesse entfallen, besitzt die Kenntnis der realen Temperaturentwicklung eine hohe energetische Relevanz.

Die installierte Sensorik – bestehend aus Infrarotsensoren, einer Thermografiekamera und einer Heißmesszelle – ermöglichte eine systematische, zeitlich synchronisierte Erfassung der Bauteiltemperaturen. Auf Basis der gewonnenen Daten konnten Temperaturverluste entlang der Linie quantifiziert und Potenziale zur Optimierung der thermischen Prozessführung identifiziert werden. Durch angepasste Prozessparameter konnten signifikante Energieeinsparungen erzielt werden, ohne die Bauteilqualität zu beeinträchtigen.

Die Retrofitkonzepte und die Ergebnisse aus vergangenen Retrofits (Retrofitberichte) sind als Grundlage für die Retrofitempfehlungen in der Datenbasis für den Demonstrator (vgl. Abschnitt 1.5) hinterlegt.

Eine Betrachtung des Konformitätsbewertungsverfahrens nach Maschinenrichtlinie ist im Forschungsvorhaben nicht vorgesehen gewesen. Im Projektverlauf hat sich dies jedoch als häufig auftretendes Hemmnis für die Durchführung von Retrofits dargestellt. Die zusätzlichen Kosten für die Unternehmen sind im mittleren fünfstelligen Bereich. CE-Zertifizierungen scheitern zudem häufig am Mangel an Dokumentation (z. B.

Tragfestigkeiten von Fundamenten/Bauwerken, insolvente und nicht mehr existierende Hersteller), sodass Retrofitvorhaben entweder an der Bereitschaft des Dienstleisters oder des nutzenden Unternehmens zur Zertifizierung scheitern können. In Gesprächen mit Mitgliedern des PA wurde daher diesbezüglich die Herangehensweise festgelegt, dass bei einem vom Demonstrator vorgeschlagenen Retrofit die Aufwände für die CE-Zertifizierung pauschal als Kostenanteil berücksichtigt werden.

1.3 Arbeitspaket 3: Retrofit-Durchführung und Aufbereitung der Messdaten (LFM und IPH)

Ziel: Ziel des AP 3 ist es, die Ergebnisse aus der Potentialanalyse und der Schnittstellenbetrachtung sowie das erarbeitete Umsetzungskonzept für das Retrofit auf Labor- und Betriebsebene umzusetzen und zu bewerten.

Durchgeführte Arbeiten:

- Beschaffung von Sensoren und Messequipment
- Implementierung der in AP 2 aufgestellten Retrofit-Konzepte
- Durchführung der praktischen Messungen
- Erstellen einer Datenanalyse-Umgebung

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wurde die notwendige Messtechnik zur Erfassung und Analyse von Prozessdaten an der Schmiedelinie eines der Mitglieder des PA erfolgreich implementiert. Hierzu erfolgte die Beschaffung des modularen ibaM-DAQ-Messsystems zur Anbindung und Auswertung von Steuerungsdaten sowie des IFM IO-Link-Systems inklusive der zugehörigen Sensorik zur Erfassung der in AP 2 definierten Parameter. Die Integration der Systeme ermöglicht eine effiziente Bündelung und strukturierte Erfassung von Sensordaten über Kommunikations-Gateways. Nach der Installation wurden umfangreiche Messungen an der Schmiedelinie durchgeführt, deren Ergebnisse ausgewertet und zur Bewertung der Prozesszustände herangezogen wurden. Diese Daten bilden eine zentrale Grundlage für die weitere Analyse, Digitalisierung und Wissensmodellierung im Rahmen des Projekts.

Die Prozessdatenerfassung der speicherprogrammierbaren Maschinensteuerung erfolgte über das modulare Messsystem ibaM-DAQ. Dieses wurde, wie in Abbildung 6 gezeigt, im Steuerschrank der Schmiedepresse installiert und über Ethernet mit der vorhandenen SPS vom Typ Siemens S7-300 verbunden. Mit Hilfe dieses Systems können unterschiedliche Signale der SPS zeitsynchron aufgezeichnet und im Anschluss ausgewertet werden. Dazu zählen beispielsweise die Temperaturen der Lager über bereits vorhandene Sensoren, die Kraftmessung des Stößels oder die Signale des Auswerfers. Letzteres wurde zur Stückzahlerfassung untersucht. Die erfassten Daten werden über eine Echtzeit-Schnittstelle an die Software ibaPDA übertragen, welche die Signale kontinuierlich aufzeichnet und analysiert. Durch die hohe Abtastrate und die präzise Zeitstempelung der Messwerte lassen sich Zusammenhänge zwischen den erfassten Prozessparametern und der Maschinenleistung detailliert untersuchen.

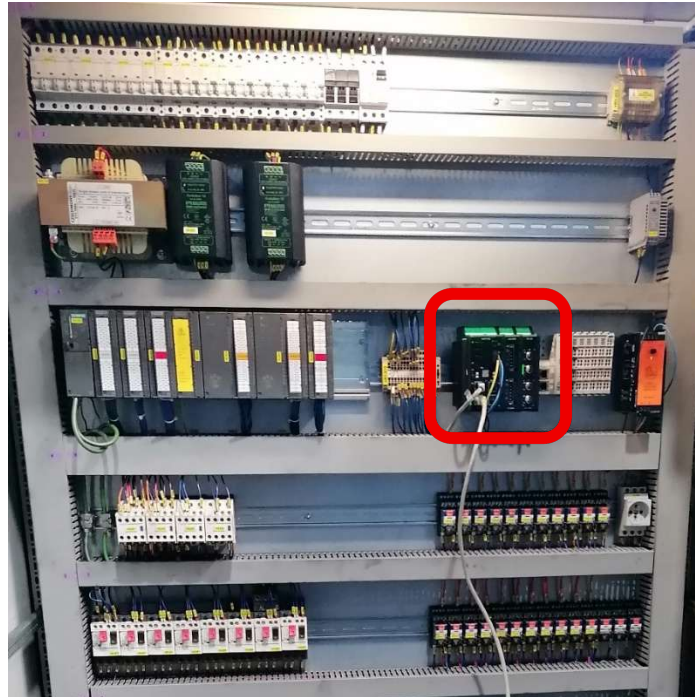


Abbildung 6: Installation des ibaM-DAQ im Steuerschrank der Schmiedepresse

In Abbildung 7 sind exemplarisch das Signal des unteren Auswerfers (blau), die Stößellage (rot) sowie die daraus abgeleitete Stückzahl (grün) dargestellt. Die Messung zeigt, dass die Integration der Steuerungssignale und deren Aufzeichnung über das iba-System grundsätzlich zuverlässig funktioniert. In diesem Beispiel ist zu sehen, dass in dem angegebenen Zeitraum 514 Auswerfersignale erfasst worden sind, wobei hierbei nicht klar zwischen Einrichtvorgängen und der Serienfertigung unterschieden werden kann. Als Referenz wurden hierbei nur 500 Teile gefertigt.

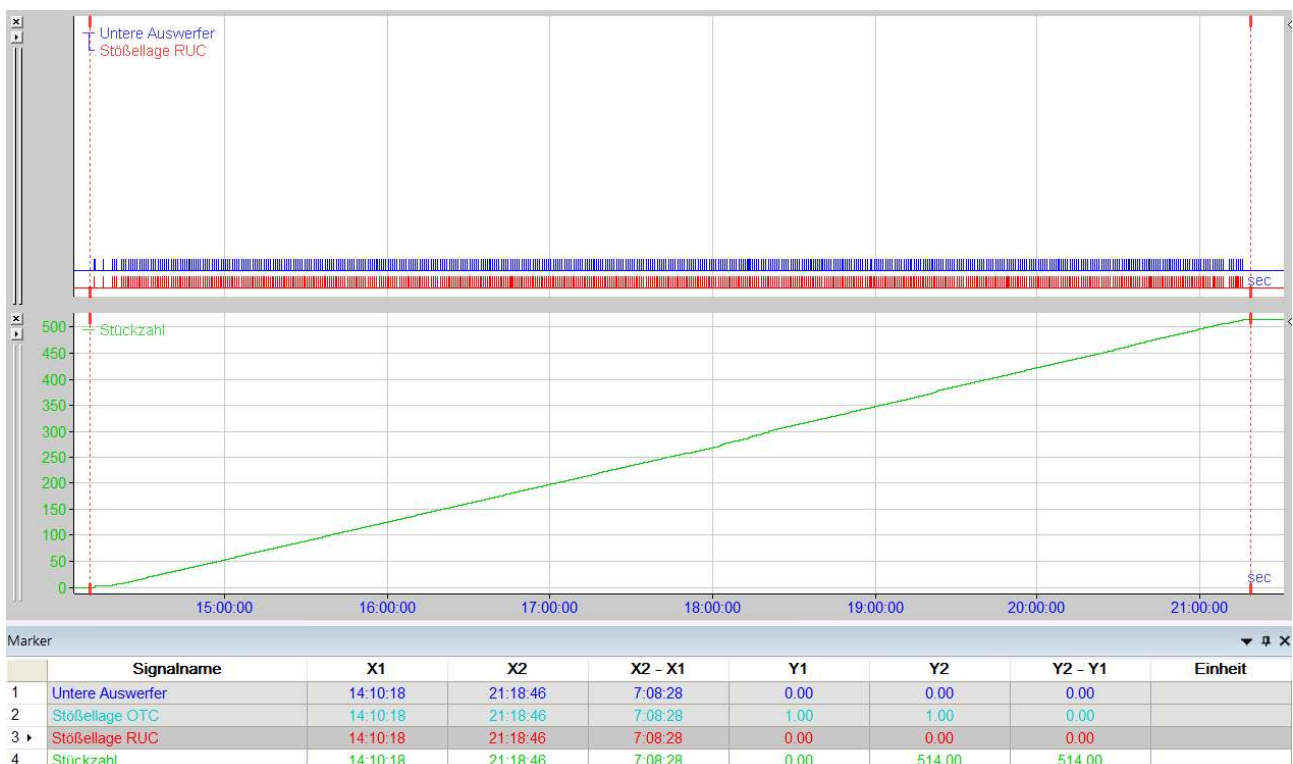


Abbildung 7: SPS-Daten-Analyse mit dem ibaAnalyzer (blau: Auswerfersignal; rot: Stößellage; grün: Stückzahl über Auswerfersignal)

Die Auswertung der aufgezeichneten Steuerungssignale zeigte, dass eine automatisierte Stückzahlerfassung über das Auswerfersignal nur unter definierten Prozessbedingungen zuverlässig möglich ist. Abhängig vom gefertigten Bauteil variiert die Anzahl der Umformschritte innerhalb eines Fertigungstakts, wodurch die Signalzuordnung zwischen Hubfolge und tatsächlicher Teileanzahl ohne diese Information nicht eindeutig gewährleistet werden kann.

Darüber hinaus lassen sich Einrichtvorgänge oder zusätzliche Umformschritte – beispielsweise ein dritter Hub bei bestimmten Werkstücken innerhalb einer Charge – anhand der verfügbaren Signale nicht eindeutig von der regulären Serienfertigung abgrenzen. Für eine robuste und valide Stückzahlerfassung ist daher eine Erweiterung der Datengrundlage erforderlich. Dies kann durch die Integration zusätzlicher Prozessparameter oder externer Sensorsignale erfolgen, um eine präzisere Klassifikation der Produktionszyklen und eine konsistente Datenerfassung über unterschiedliche Betriebsszenarien hinweg sicherzustellen.

Die Installation einer entsprechenden externen Sensorik erfolgte unter Verwendung eines IO-Link-Systems der Firma IFM GmbH, das eine standardisierte und flexible Einbindung der Messsignale ermöglicht. Wie in Abbildung 8 zu erkennen, wurde am Einlauf der Schmiedepresse ein Infrarot-Temperatursensor zur berührungslosen Temperaturmessung der Werkstücke installiert, während am Auslauf ein Laser-Abstandssensor zur Erfassung des Werkstückdurchlaufs angebracht wurde.

Ergänzend befindet sich am Einlauf der Abgratpresse ein Reflexlichttaster (vgl. Abbildung 9), der ebenfalls den Materialdurchgang detektiert. Über diese Sensoren erfolgt eine zusätzliche Stückzahlerfassung für die einzelnen Produktionsabschnitte der Schmiedelinie, wobei der Temperatursensor zugleich die Werkstücktemperatur erfasst. Dabei wird ein Werkstück gezählt, sobald eine Temperatur oberhalb von 900 °C gemessen wird. Der Laser-Abstandssensor registriert ein Werkstück, wenn eine Verringerung des gemessenen Abstandes erkannt wird, und der Reflexlichttaster detektiert es bei Unterbrechung des Lichtstrahls. Durch die Kombination dieser unterschiedlichen Sensorprinzipien wird die Stückzahlerfassung redundant ausgelegt und die Robustheit gegenüber Störungen im Schmiedeprozess erhöht.

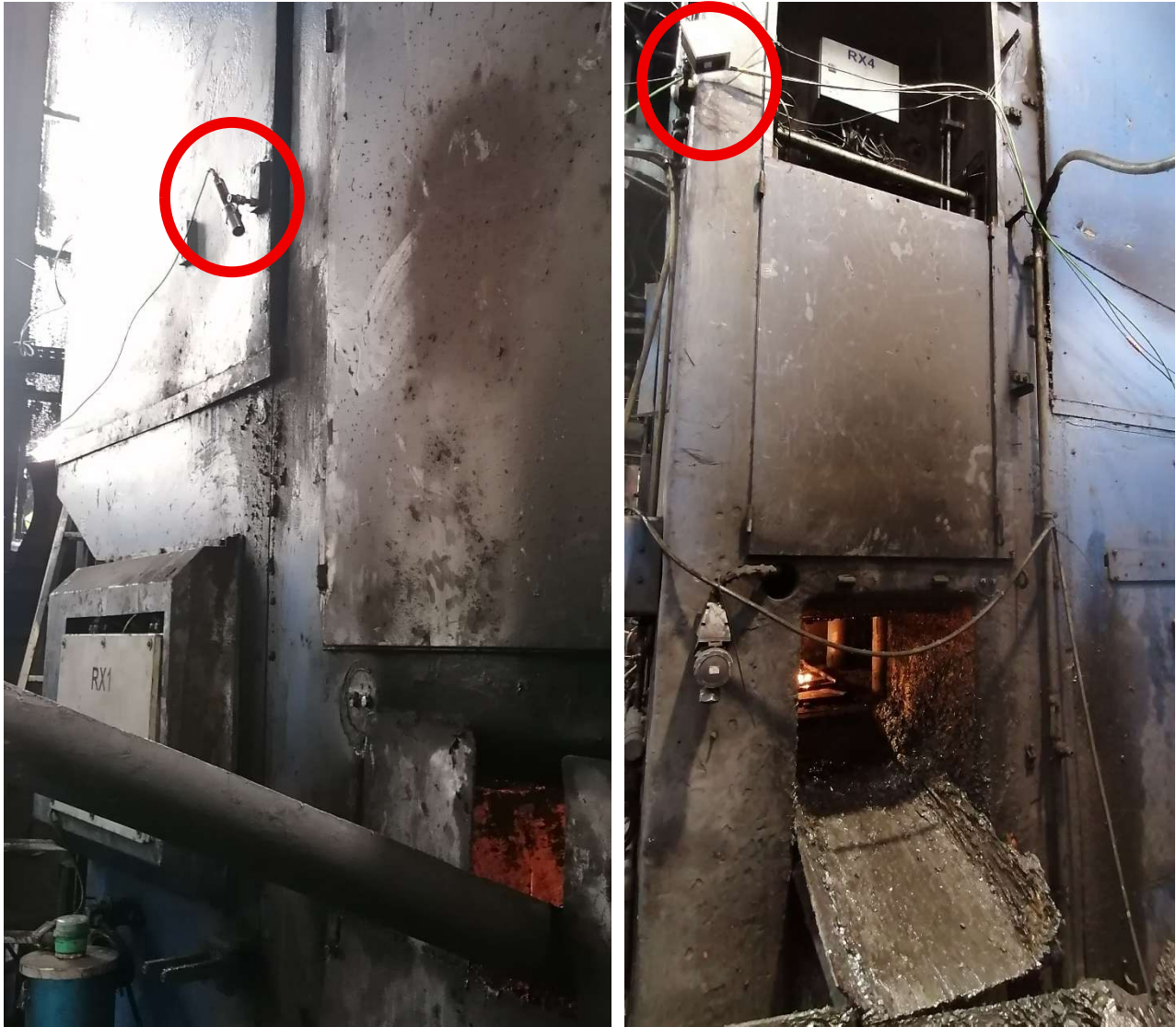


Abbildung 8: Externe Sensoren an der Schmiedepresse (links: Einlauf mit einem Infrarot-Tempersensor; rechts: Pressenauslauf mit Laser-Abstandssensor)

Im Betrieb ergeben sich jedoch verschiedene systembedingte Herausforderungen. Beim Infrarot-Tempersensor kann eine Änderung des Emissionsgrades – beispielsweise durch unterschiedliche Materialoberflächen oder Werkstoffvarianten – zu Messabweichungen führen. Der Laser-Abstandssensor detektiert lediglich einen Punkt im Messfeld, wodurch eine präzise Ausrichtung und Justage erforderlich ist, um Fehlzählungen zu vermeiden. Der Reflexlichttaster muss aufgrund der hohen Werkstücktemperaturen in einem sicheren Abstand positioniert werden, um thermische Beschädigungen zu verhindern. Darüber hinaus sind alle verwendeten Sensoren optischer Bauart und somit grundsätzlich empfindlich gegenüber Verschmutzungen, wie sie typischerweise in Schmiedebetrieben durch Zunder, Ölnebel oder Partikel auftreten. Eine regelmäßige Reinigung und Wartung der Sensorik ist daher entscheidend, um die Messqualität und Zuverlässigkeit der Stückzahlerfassung langfristig sicherzustellen. Dies sollte in Arbeitsanweisungen festgehalten werden.



Abbildung 9: Position des Reflexlichttasters am Einlauf der Abgratpresse

Am Ende der Schmiedelinie wurden zusätzlich eine Thermografiekamera sowie eine Heißmesszelle implementiert, um weiterführende Prozess- und Qualitätsdaten zu erfassen. Die Thermografiekamera diente sowohl der Erfassung der Werkstücktemperatur als auch der Stückzahlermittlung auf Basis der thermischen Signatur der austretenden Teile. Durch die flächige Temperaturmessung lassen sich Temperaturverteilungen über das gesamte Bauteil hinweg erfassen und damit Rückschlüsse auf Prozessstabilität und Erwärmungskonsistenz ziehen. Die installierte Heißmesszelle ermöglicht eine optische Vermessung der geschmiedeten und abgegrateten Bauteile unmittelbar nach dem Umformprozess. Auf diese Weise kann eine Beurteilung der Bauteilqualität erfolgen, ohne dass die Teile zuvor abkühlen müssen. Diese Kombination aus Thermografie und Heißmessung erlaubt eine umfassende Bewertung des Fertigungsprozesses und liefert wertvolle Daten zur Korrelation von Prozessparametern und resultierender Bauteilqualität. Aufgrund des hohen Mess- und Auswerteaufwandes wurde über die Heißmesszelle jedoch keine kontinuierliche inline-Qualitätserfassung realisiert, sondern lediglich eine stichprobenbasierte Qualitätsprüfung durchgeführt, wie es auch vom Hersteller derzeit vorgesehen ist.

Erzielte Ergebnisse:

Es wurde eine Open-Source-Umgebung zur Datenaufnahme und -analyse genutzt. Diese ermöglicht es, die Eingangssignale der Sensoren mit Protokollen wie TCP, UDP, GPIO-Pins, OPC-UA (über das separate Messsystem) aufzunehmen und über einen MQTT-Broker für die Weitergabe an die Auswertesoftware zur Datenvorverarbeitung und Sicherung in einer Datenbank (InfluxDB – für BigData/NoSQL zeitreihenbasierte Datenbank) zu bündeln. Aus den zeitlich synchronisierten Datenreihen lassen sich durch eine Visualisierungslösung (Grafana) nutzerbasierte Ansichten für die Daten festlegen. Diese Visualisierung und die zugrundeliegenden Datensignale sind im lokalen Messrechner beim Unternehmen über eine Weboberfläche erreichbar.

Die Auswertung der Daten geschieht dabei an zwei Stellen. Einige Sensoren (insbesondere Kameras) verfügen über eine eigene Datenverarbeitungseinheit und ermöglichen so bereits bei Datenaufnahme eine Vorverarbeitung, um bspw. Störsignalfilterung oder Mustererkennung lokal durchzuführen, bevor die Daten im Messrechner aggregiert werden. Dies führt allerdings zu einer Verzögerung im Signalempfang, die jedoch bekannt ist und in der Datenvorverarbeitung berücksichtigt wird.

Die durchgeführten Untersuchungen bestätigten die grundsätzliche Funktionsfähigkeit der Datenerfassung und -auswertung über die implementierten Systeme. Die Aufzeichnung der Steuerungssignale über das ibaM-DAQ-System ermöglichte eine verlässliche Erfassung der relevanten Prozessgrößen und lieferte wertvolle Erkenntnisse zum zeitlichen Verlauf und zur Charakteristik der Umformvorgänge. Auf Basis der aufgezeichneten Daten konnten erste Prozessmuster identifiziert werden, die eine Grundlage für weiterführende Analysen zur Prozessbewertung und Zustandsüberwachung bilden. Es zeigte sich jedoch, dass eine vollständig automatisierte und robuste Stückzahlerfassung ausschließlich über die vorhandenen Steuerungssignale nicht möglich ist, da prozess- und bauteilspezifische Variationen – wie unterschiedliche Umformhübe oder Einrichtvorgänge – zu Abweichungen in der Signalinterpretation führen.

Die im Rahmen der Retrofits installierte optische Sensorik erwies sich als geeignete Ergänzung zur bestehenden Steuerungsdatenerfassung. Über das IO-Link-System konnten Temperatur-, Abstands- und Durchgangssignale zuverlässig erfasst und zur Stückzahldetektion herangezogen werden. Die Sensoren lieferten unter stabilen Betriebsbedingungen reproduzierbare Ergebnisse, wobei sich insbesondere die Temperaturmessung als wertvoller Indikator für den Prozesszustand herausstellte. Einschränkungen traten bei variierenden Werkstückoberflächen, Verschmutzungen oder hohen Umgebungstemperaturen auf, die die Signalqualität beeinflussen können. Hier besteht Optimierungspotenzial hinsichtlich Sensorpositionierung, Schutzmaßnahmen und Signalverarbeitung, um eine langfristig stabile Datenerfassung im industriellen Umfeld zu gewährleisten.

Die am Ende der Schmiedelinie implementierte Thermografiekamera und Heißmesszelle erweiterten die Datenbasis um temperatur- und qualitätsrelevante Informationen. Die Thermografiekamera zeigte eine hohe Genauigkeit und Wiederholbarkeit bei der Erfassung der Werkstücktemperaturen und ermöglichte die Detektion von Prozessabweichungen, wie etwa unzureichend erwärmten Schmiedeteilen. Die Heißmesszelle konnte erfolgreich zur optischen Geometriemessung heißer Schmiedeteile eingesetzt werden und erlaubte eine qualitative Bewertung der Bauteilkonturen im heißen Zustand, ohne vorherige Abkühlung. Damit wurde die technische Machbarkeit einer inlinefähigen Qualitätsprüfung im Schmiedeprozess nachgewiesen. Aufgrund des derzeit noch hohen Mess- und Auswerteaufwandes erfolgt die Anwendung bislang stichprobenbasiert, bietet jedoch ein erhebliches Potenzial für die zukünftige automatisierte Qualitätsüberwachung in der Serienfertigung.

1.4 Arbeitspaket 4: Entwicklung der KI-Algorithmen (IPH)

Ziel: AP 4 zielt darauf ab, auf Basis der erfassten Daten der vorherigen Arbeitspakete sowohl eine KI-Lösung für die Empfehlung von Retrofitmaßnahmen basierend auf der internen Zielsetzung des jeweiligen Unternehmens als auch bei erfassten Messdaten aus Maschinensteuerungen eine Fehlermustererkennung aufzubauen.

Durchgeführte Arbeiten:

- Expertendialoge

- Verfahrens-Recherche
- Aufbau eines RAG-Modells
- Erstellung der Datenbasis

In Absprache mit dem PA in Expertendialogen wurde das Vorgehen bei Retrofits, bzw. deren vorrangigen Ziele besprochen. Aus diesen Gesprächen sind für Retrofits notwendige Wissensinhalte und grundlegende Informationen identifiziert worden, die durch einen Softwaredemonstrator abzudecken sind. In Gesprächen mit Unternehmen außerhalb des PA, darunter ein Dienstleister für Retrofits, sind Informationen über das Vorgehen bei Retrofits bzw. Befindlichkeiten und Problematiken bei Retrofits erfasst worden. Gleichzeitig ist das Standard-Vorgehen zu digitalen Retrofits anhand weiterer Literaturquellen untersucht und erfasst worden.

Basierend auf den recherchierten Grundlagen zu Retrofits und der aus AP 1 sowie AP 2 erhaltenen Erkenntnisse ist ein Chat-Programm aufgebaut worden, welches die Nutzenden durch den Prozess des Retrofits führt.

Erzielte Ergebnisse:

Die ursprünglich vorgesehene Fehlerbilderkennung mittels KI basierte auf der Annahme, dass mehrere PA-Unternehmen umfangreiche Steuerungsdaten und dokumentierte Fehlerbilder aus realen Messdaten von verschiedenen Massivumformungsanlagen bzw. Schmiedelinien bereitstellen würden. Im Projektverlauf zeigte sich jedoch, dass die tatsächlich verfügbare Datenbasis aufgrund von Wettbewerbsrestriktionen, fehlender Dokumentation und der anschließenden Validierung auf lediglich einer verfügbaren exemplarischen Linie deutlich begrenzter war als im Antrag angenommen. Weitere intensive Suchen nach nutzbaren Fertigungslinien endeten ergebnislos. Eine rein datengetriebene Fehlermustererkennung auf Basis dieser eingeschränkten Datengrundlage hätte zwar für die konkret untersuchte Schmiedelinie funktionieren können, wäre jedoch wissenschaftlich nicht hinreichend generalisierbar gewesen und hätte die typische Situation von KMU mit heterogener Bestandsanlagenlandschaft nur unzureichend abgebildet. Vor diesem Hintergrund wurde das methodische Vorgehen in Abstimmung mit dem PA bewusst angepasst.

Somit hat der PA in Abstimmung mit den Forschungseinrichtungen beschlossen, Retrofitempfehlungen im Sinne des Projektziels statt mit einer anlagenspezifischen Fehlermuster-KI mit einem wissensbasierten Ansatz auf Basis eines Retrieval-Augmented-Generation-Modells (RAG) mit bestehenden und zukünftigen Erfahrungen aus der Industrie zu generieren. Dieser Ansatz verknüpft ein generatives Sprachmodell mit einer kuratierten Datenbasis aus Retrofitleitfäden (z. B. nach VDMA [2] und Tantscher/Mayer [3]), wissenschaftlicher Literatur (etwa zu Entscheidungsgrundlagen [4]), Übersichten zur Digitalisierungsperipherie und Praxiswissen der PA-Mitglieder, um für die Retrofitempfehlungen eine fundierte, übertragbare und KMU-taugliche Grundlage zu schaffen. Das Ziel, Unternehmen eine datenbasierte Entscheidungsgrundlage zu bieten, mit der sie die zu erwartenden Optimierungspotenziale und Vorgehensweisen für einen digitalen Retrofit auch ohne Auslesen der Maschinendaten abschätzen können, blieb nach Auffassung des PA dabei gesichert. Die neue Grundlage, auf der das Wissen rund um Retrofits im Demonstrator basiert, ist eine KI-gestützte Anwendung aufbauend auf einer speziellen Anwendung eines großen computerlinguistischen Modells (Large Language Model, LLM), dem Prinzip des sogenannten Retrieval-Augmented Generation (RAG) Modells.

Der neue Ansatz bot zusätzlich zu den bestehenden Zielsetzungen des Projekts den Mehrwert, dass es einen höheren Grad an Generalisierbarkeit und auch zukünftige Ausbaufähigkeit in den Unternehmen gibt,

auch wenn diese nicht über eine lange Datenhistorie verfügen. Zusätzlich bleibt die Datensouveränität der Unternehmen durch die lokal einsetzbare Lösung stets gewahrt. Damit adressiert der entwickelte Demonstrator die reale Ausgangslage in vielen KMU besser als der ursprünglich geplante, stark datengetriebene Ansatz.

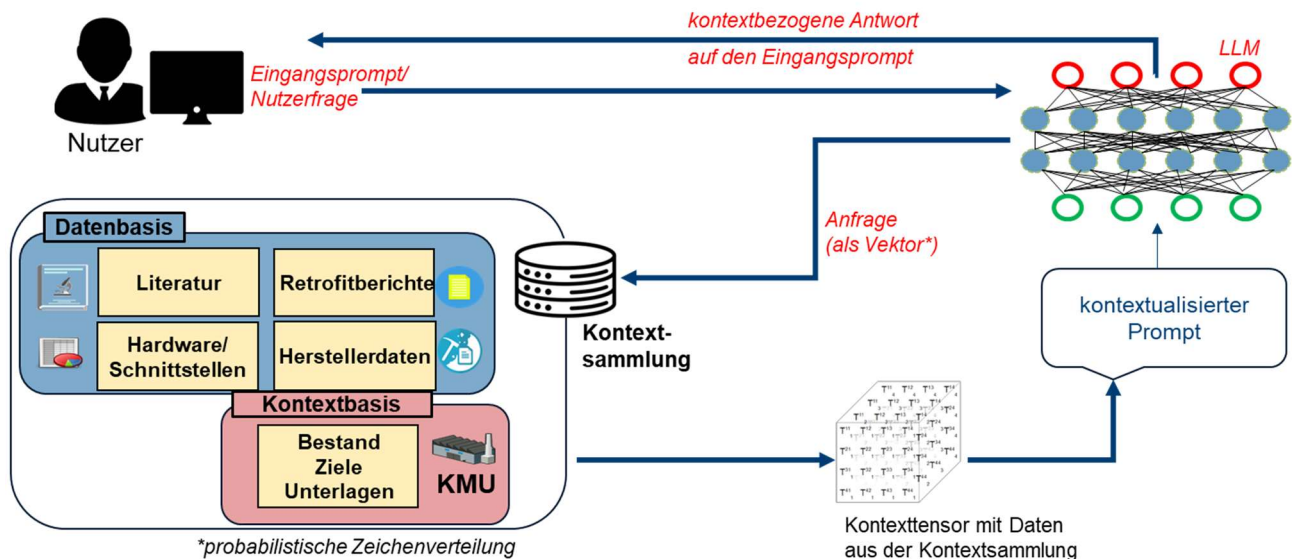


Abbildung 10: Schematische Darstellung eines RAG-Modells mit Kontextsammlung als Datenbasis

Der notwendige Ansatz zur Retrofitempfehlung muss individuelle Antworten in einem dialogbasierten Verfahren ermöglichen, wie er von generativen Sprachmodellen bekannt ist. Da hier jedoch fachspezifisches Wissen kodiert sein muss, genügen die derzeitigen, dem Stand der Technik entsprechenden reine Sprachmodelle, dem Ansatz nicht, sodass ein solches Sprachmodell zusätzlich in einem datenbasierten Kontext eingebettet werden muss. Die Verwendung des RAG-Modell-Ansatzes, der das Sprachmodell lediglich zur Gesprächsführung einsetzt, bindet Daten aus einem zur Verfügung gestellten Speicher in die Antworten mit ein, wie in Abbildung 10 gezeigt. Durch gesicherte Erkenntnisse in dieser Datenbasis werden die Antworten des Sprachmodells somit mit einer dokumentengestützten Wissensabfrage kombiniert. Anhand der zur Verfügung gestellten Informationen sorgt das Modell dafür, dass im Verfahren zur Erstellung einer Antwort auf die Nutzerfrage verifizierte Informationen aus relevanten Quellen zu Retrofits einfließen, ohne dass das zugrundeliegende Sprachmodell selbst auf Grundlage dieser Informationen trainiert worden ist [5].

Das Modell minimiert dadurch sogenannte Halluzinationen, die in LLM systeminhärent auf Basis statistischer Wahrscheinlichkeiten als plausibel klingende, aber unbelegte oder falsche Informationen ausgegeben werden, da dem LLM-Kontext und Wissen bzw. statistisch passende Wortmuster für eine Anfrage (Englisch: prompt) fehlen. Der Grund, weshalb die gesicherten Informationen im RAG-Modell nicht einfach in ein abgewandeltes Sprachmodell durch Training integriert werden, ergibt sich aus der dafür notwendigen hohen Rechenkapazität und -zeit. Diese ist nach Erstellung von Frage-Antwort Paarungen zu jeder Änderung der Datenbasis – also für jede neue Information aus dem Unternehmen – zusätzlich erforderlich, was diesen Ansatz für den produktiven Industrie-Einsatz unwirtschaftlich macht.

Der Vorteil der im Projekt ausgearbeiteten Lösung für die Unternehmen ist eine fundierte Unterstützung für die Planung von Digitalisierungs-Retrofits, auch ohne eigene umfangreiche Messdaten. Die Nutzung des Systems ist jedoch dadurch eingeschränkt, dass zunächst nicht jede Art eines digitalen Retrofits abgebildet wird, sondern die Empfehlungen erst mit der Zeit durch eine wachsende Datenbasis umfassender werden.

Nutzende Unternehmen können neben der allgemeinen, frei zugänglichen Datenbasis auch eigene Unterlagen mit unternehmensspezifischen Vorgaben, Erkenntnissen und Inhalten hinzufügen. Über das Online-Repository kann in Kollaboration die Datenbasis erweitert und ggf. korrigiert werden.

Die für die Nutzung durch den in AP 5 beschriebenen Softwaredemonstrator (vgl. Abschnitt 1.6) notwendigen Dokumente als Datenbasis müssen maschinenlesbar vorliegen. Daher wurde die in AP 1 und 2 gesicherte Literatur maschinenlesbar umgesetzt und eine Möglichkeit vorgesehen, auch neue Dokumente einlesen zu können. Dabei wurde darauf geachtet, nur frei zugängliche Daten für den allgemeinen Teil der Datenbasis für das RAG-Modell zu erfassen, da diese öffentlich zur Verfügung gestellt wird. Ein Leitfaden wurde parallel entwickelt, der Unternehmen bzw. Nutzende befähigt, eigene, interne Daten in einen nicht-öffentlichen Teil der Datenbasis zu integrieren.

Es ist somit eine Wissensgrundlage entstanden, die es Mitarbeitenden im Unternehmen ermöglicht, Antworten auf Fragen zu Retrofits, Einsatz von Sensoren und notwendiger Peripherie zu erhalten.

1.5 Arbeitspaket 5: Entwicklung Softwaredemonstrator (IPH und LFM)

Ziel: Ziel von AP 5 ist die Entwicklung eines benutzerfreundlichen Softwaredemonstrators. Dieser Demonstrator gibt basierend auf eingegebenen Randgrößen Retrofitempfehlungen ab.

Durchgeführte Arbeiten:

- Aufbau einer Docker-Umgebung
- Testen des RAG-Sprachmodells

Damit die Softwarelösung aus dem Projekt eine breite Anwendbarkeit finden kann und da gleichzeitig eine große Rechenleistung vonnöten ist, die in der Industrie häufig nur auf Workstations oder Netzwerk-Servern bereitgestellt werden kann, ist diese in Form einer hochmobilen Docker-Umgebung auf Linux-Basis umgesetzt worden. Diese ist mit WSL (Windows Subsystem für Linux) und Docker Desktop auch auf Windows-Umgebungen nutzbar. Zwar sind MacOS-Umgebungen in der Industrie nicht weit verbreitet, jedoch gibt es hierfür ebenfalls die Möglichkeit, Docker-Umgebungen mit Docker Desktop aufzubauen.

Das vollständige Docker-Paket ist den Mitgliedern des PA zur Verfügung gestellt worden und nach Projektabschluss auch online verfügbar. Die Mitglieder haben den Softwaredemonstrator geprüft und Verbesserungsvorschläge unterbreitet.

Erzielte Ergebnisse:

Der Ansatz des Softwaredemonstrators mit RAG-Modell funktioniert über den Abgleich der bei der Fragestellung des Nutzens erstellten semantischen Vektors mit dem am besten passenden Vektor in den hinterlegten Unterlagen. Es werden also genau zur Frage passende Textpassagen aus den hinterlegten Unterlagen mit gesicherten Erkenntnissen in einer Ähnlichkeitsbetrachtung aggregiert und über das Sprachmodell wieder in einen semantischen Zusammenhang gebracht (vgl. auch Abbildung 10). Das Modell arbeitet aufgrund dieses „Filters“ merklich langsamer als die allgemein bekannten Sprachmodelle, gibt dafür aber nur die auf der fachlichen Basis begründeten Erkenntnisse weiter. Der Vorteil des durch den PA vorgesehenen Ansatzes liegt darin, dass mit zunehmender Datenbasis sowohl in den Dokumenten, die Informationen zu Retrofitgrundlagen beinhalten, als auch in den unternehmenseigenen Unterlagen, die wiedergegebenen Antworten des Systems fallspezifischer und umfassender werden. Das System ist daher über das Forschungsvorhaben hinaus ausbaufähig.

```

Du: Wie kann ich Daten aus dem Retrofit-Aufbau erhalten und aufbereiten?
Llama.generate: 736 prefix-match hit, remaining 1556 prompt tokens to eval
llama_perf_context_print: load time = 199976.08 ms
llama_perf_context_print: prompt eval time = 0.00 ms / 1556 tokens ( 0.00 ms per token, inf tokens per second)
llama_perf_context_print: eval time = 0.00 ms / 446 runs ( 0.00 ms per token, inf tokens per second)
llama_perf_context_print: total time = 313564.85 ms / 2002 tokens
Chatbot: Um Daten aus dem Retrofit-Aufbau zu erhalten und aufzubereiten, kannst du folgende Schritte befolgen:

1. Sensoren auswählen: Wähle die geeigneten Sensoren für den Retrofit-Prozess aus, die Daten zur Messung der Anzahl der Teile liefern können.
2. Datenübertragung: Verwende eine Kommunikationstechnologie, die es dir ermöglicht, die Daten der Sensoren zu empfangen, wie z.B. Ethernet, Wi-Fi oder Bluetooth.
3. Datenkonvertierung: Konvertiere die Daten der Sensoren in eine Formatierung, die für weitere Analyse und Verarbeitung geeignet ist, wie z.B. JSON, CSV oder Excel.
4. Datenlagerung: Speichere die Daten in einem geeigneten Repository, wie z.B. einer Datenbank, um sie für zukünftige Analyse und Verarbeitung zur Verfügung zu stellen.
5. Datenverarbeitung: Verarbeite die Daten, um Informationen zu extrahieren und zu analysieren, die für die Prozessoptimierung, die Produktionsoptimierung oder die Fehlerbehebung hilfreich sein können.
6. Visualisierung: Visualisiere die Daten, um sie verständlicher und zugänglicher zu machen, und biete Möglichkeiten zur Interaktion mit dem Datenmaterial, um das Verständnis der Daten zu verbessern.
7. Berichterstattung: Erstelle Berichte, um die wichtigsten Erkenntnisse und Fakten aus den Daten zu präsentieren, und stelle sie für die Entscheidungsträger und anderen Interessenten zur Verfügung.

Durch diesen Prozess kannst du Daten aus dem Retrofit-Aufbau erhalten und aufbereiten und sie für die Prozessoptimierung und die Produktionsoptimierung nutzen.
Dauer: 315.9601114120483
Antwort Länge: 1507
Gefundene Quellen:
- IPH Retrofit Definition, Vorteile, Lösungen, Umsetzung.txt
- Hinweise zu Retrofitkonzepten.txt
Du: Welchen Temperaturbereich halten die Sensoren zur Zählung der Teile üblicherweise aus?
Llama.generate: 61 prefix-match hit, remaining 1682 prompt tokens to eval
llama_perf_context_print: load time = 199976.08 ms
llama_perf_context_print: prompt eval time = 0.00 ms / 1682 tokens ( 0.00 ms per token, inf tokens per second)
llama_perf_context_print: eval time = 0.00 ms / 398 runs ( 0.00 ms per token, inf tokens per second)
llama_perf_context_print: total time = 290590.71 ms / 2880 tokens
Chatbot: Die Temperaturbereich, den die Sensoren zur Zählung der Teile halten, hängt von den spezifischen Sensoren und ihren Anwendungen ab. Einige Sensoren können einen breiteren Temperaturbereich erreichen, während andere sich auf einen engeren Bereich spezialisiert haben. Es ist wichtig, die Temperaturbereichsangabe im Kontext der spezifischen Anwendung und des Sensors zu berücksichtigen. Hier sind einige Beispiele:

1. Induktiv-Kraftmess-Sensoren: Die meisten Induktiv-Kraftmess-Sensoren können einen Temperaturbereich von -20°C bis 80°C oder sogar 150°C erreichen.
2. Vibro-Sensoren: Vibro-Sensoren können einen breiteren Temperaturbereich erreichen, normalerweise von -40°C bis 80°C.
3. Ultraschall-Sensoren: Ultraschall-Sensoren können einen Temperaturbereich von -20°C bis 60°C erreichen.
4. Funk-Sensoren: Funk-Sensoren können einen breiteren Temperaturbereich erreichen, normalerweise von -40°C bis 80°C.

Es ist wichtig, die spezifischen Anforderungen für die Messung des Prozesses und die Anzahl der Teile, die durchlaufen werden, zu berücksichtigen, wenn du die Sensoren auswählst. Du solltest die Temperaturbereichsangabe der Sensoren auswählen, die dem Prozess und seiner Umgebung am besten entsprechen.
Dauer: 293.02408361434937
Antwort Länge: 1213
Gefundene Quellen:
- IPH Retrofit Definition, Vorteile, Lösungen, Umsetzung.txt
- Hinweise zu Retrofitkonzepten.txt
- Struktur für Retrofitkonzept.txt

```

Abbildung 11: Beispielausgabe des Softwaredemonstrators mit zugrundeliegendem RAG-Sprachmodell

Das Modell verwendet beide Datenbanken, um Textpassagen in sogenannten „Chunks“ zu ordnen. Die Chunks bilden in Länge, probabilistischer Wortreihenfolge und -zusammensetzung einen Sprachvektor, der als Antwort zum Vektor einer gestellten Frage passt. Das Modell sucht nun die vorgesehene Anzahl passender Chunkvektoren und kombiniert sie zu einer aussagekräftigen und der Datenbasis entsprechenden Antwort. Die zugrundeliegende Datenbasis enthält sowohl Retrofitwissen aus Leitfäden als auch in der Literatur beschriebene Retrofits, Merkmale und Einsatzmöglichkeiten von Sensoren, passende Messsysteme für gegebene Signale bzw. Signalprotokolle sowie die allgemeine Struktur für Retrofitkonzepte. Somit kann das Modell den syntaktischen und semantischen Zusammenhang herstellen und die beste Antwort auf die gestellten Fragen geben. Die Laufzeit des Modells wird dabei maßgeblich von der Anzahl an Chunks und der zugrundeliegenden Datenbasismenge beeinflusst. Das RAG-Modell ist kein feintrainiertes Modell, wird also nicht auf die bestehende Datenbasis feingetunt. Entsprechend länger benötigt es zur generativen Texterzeugung, aber umso genauer bleibt es dabei. Der zusätzliche Aufwand für ein stets aktuell feingetuntes Sprachmodell kann in den Unternehmen wegen mangelnder Kapazitäten, Hardware oder Expertise nicht geleistet werden und hat daher nur einen fraglichen Mehrwert.

Der PA hat in der Bewertung festgestellt, dass die Rechenzeit stark abhängig von der eingesetzten Hardware ist. Auf einem Laptop mit hoher Rechenleistung (8 Kerne, 32 GB Hauptspeicher) sind Antwortzeiten von bis zu 10 Minuten nicht selten. Auf einem Server, der speziell für KI-Anwendungen angeschafft wurde und eine leistungsstarke 16-Kern-CPU und zusätzlich einen 128 GB großen Hauptspeicher besitzt, sind die Antwortzeiten um etwa den Faktor 6 schneller. Ein wesentlicher Vorteil ist jedoch die breite Einsetzbarkeit unabhängig vom Hardware-Ökosystem im Unternehmen. Es wurde beobachtet, dass die Antworten des Systems besser werden, je präziser die Fragestellung ist. Einige PA-Mitglieder haben den

Softwaredemonstrator mit kommerziellen Sprachmodellen verglichen und erhielten bei diesen teils umfangreichere, aber nicht immer korrekte Antworten. Die Geschwindigkeit dieser Angebote ist jedoch durch lokal betriebene Sprachmodelle nicht zu erreichen. Ein großer Vorteil bei der Nutzung eines lokalen Sprachmodells ist hingegen der Sicherheitsaspekt, da bei diesem keine Daten das Unternehmen verlassen.

Der Softwaredemonstrator kann nach initialer Einrichtung sowohl von erfahrenen als auch unerfahrenen Mitarbeitenden genutzt werden. Die Grundlegendokumente für die Chatantworten sind nach Absprache mit dem PA auf Anlagen für den eigentlichen Umformprozess (vor allem Schmiedehämmer und Gesenkschmieden) fokussiert, eingeschränkt nutzbare Antworten erhält der Nutzer für Erwärmungs- und nachgelagerte Prozesse. Über die Datengrundlage für eine Vielzahl von Sensorarten erhalten Nutzer jedoch einen breiten Überblick über die für das vorliegende Szenario notwendigen Sensoren. Die Ergebnisse sind agnostisch, was spezifische Hersteller von Anlagen und Sensoren angeht. Der Demonstrator hat keine grafische Ausgabe, da eine textbasierte Ergebnislogik priorisiert wurde, um fallbezogene Empfehlungen nachvollziehbar abzuleiten.

1.6 Arbeitspaket 6: Dokumentation und Wissenstransfer (IPH und LFM)

Ziel: Das Ziel von AP 6 ist die Dokumentation der Projektergebnisse sowie die Informierung der Fachöffentlichkeit über unterschiedliche Verbreitungswege.

Durchgeführte Arbeiten:

- Magazin-Beiträge
- Social Media
- Kolloquium beim LFM
- Poster-Vorstellung beim International Forging Congress - IFC 2025 in Frankfurt

Im Verlauf des Projekts wurden vielfältige Möglichkeiten genutzt, um interessierte Unternehmen über die (Teil-)Ergebnisse zu informieren. Dies geschah über verschiedene Kanäle wie Online-Plattformen, Printmedien und Vorträge, um eine breite Wissensvermittlung und Verbreitung der Ergebnisse zu gewährleisten. Im Rahmen eines Kolloquiums am Labor für Massivumformung wurden die Projektinhalte und Zwischenergebnisse einem Fachpublikum aus Industrie und Forschung nähergebracht. Auf der IFC 2025 in Frankfurt war das Projekt in Form einer Posterpräsentation vertreten und wurde interessiertem Fachpublikum vorgestellt.

Die Code-Basis ist in kommentierter Form erstellt worden und somit auch für etwaige Bemühungen zur eigenen Implementierung zugänglich. Ein Leitfaden zum Einsatz des Demonstrators wurde dem PA vorgestellt und der Open-Source Veröffentlichung des Projekts beigefügt.

Das Projektmanagement sorgte dabei für eine systematische und strukturierte Organisation des Forschungsprozesses und stellte sicher, dass die Ergebnisse im Rahmen des geplanten Zeit- und Ressourcenaufwands erzielt wurden.

Erzielte Ergebnisse:

Öffentliche Beiträge, Magazin-Beiträge, Kolloquien und Kongressteilnahmen (Poster), Zwischenberichte, Schlussbericht und erfolgreich durchgeführtes Projekt.

2 Verwendung der Zuwendung

Nachfolgend sind die Angaben zu den aus der Zuwendung finanzierten Ausgaben für Personenmonate des wissenschaftlichen Personals gemäß Beleg über Beschäftigungszeiten (Einzelansatz A.1 des Finanzierungsplans), für Geräte (Einzelansatz B des Finanzierungsplans) und für Leistungen Dritter (Einzelansatz C des Finanzierungsplans) aufgeführt:

- **wissenschaftlich-technisches Personal (Einzelansatz A.1 des Finanzierungsplans)**

Tabelle 1: Personaleinsatz

Arbeitspaket im Berichtszeitraum (12/2022 – 09/2025)	Personalkategorie	PM IPH (FE 1)	PM LFM (FE 2)
AP 1 Erfassung wirtschaftlicher und technischer Potentiale (FE 1 und FE 2)	Wissenschaftliche Mitarbeitende (HPA-A)	5	4
	Wiss.-Technische Mitarbeitende (HPA-B)	0	4
	Technische Mitarbeitende (HPA-C)	0	0
	Technische Mitarbeitende (HPA-D)	0	0
AP 2 Analyse und Erstellung von Retrofitkonzepten (FE 2 und FE 1)	Wissenschaftliche Mitarbeitende (HPA-A)	2	5
	Wiss.-Technische Mitarbeitende (HPA-B)	0	4
	Technische Mitarbeitende (HPA-C)	1	0
	Technische Mitarbeitende (HPA-D)	0	0
AP 3 Retrofit-Durchführung und Aufbereitung der Messdaten (FE 2 und FE 1)	Wissenschaftliche Mitarbeitende (HPA-A)	2	6
	Wiss.-Technische Mitarbeitende (HPA-B)	0	5,5
	Technische Mitarbeitende (HPA-C)	0	0
	Technische Mitarbeitende (HPA-D)	0,5	0
AP 4 Entwicklung der KI-Algorithmen (FE 1)	Wissenschaftliche Mitarbeitende (HPA-A)	6,97	0
	Wiss.-Technische Mitarbeitende (HPA-B)	0	0
	Technische Mitarbeitende (HPA-C)	0	0
	Technische Mitarbeitende (HPA-D)	5	0
AP 5 Entwicklung Softwaredemonstrator (FE 1 und FE 2)	Wissenschaftliche Mitarbeitende (HPA-A)	4	3,6
	Wiss.-Technische Mitarbeitende (HPA-B)	1	2
	Technische Mitarbeitende (HPA-C)	0	0
	Technische Mitarbeitende (HPA-D)	2	0
AP 6 Dokumentation und Wissenstransfer (FE 1 und FE 2)	Wissenschaftliche Mitarbeitende (HPA-A)	2	2
	Wiss.-Technische Mitarbeitende (HPA-B)	0	2,25
	Technische Mitarbeitende (HPA-C)	0	0
	Technische Mitarbeitende (HPA-D)	1	0
Summe	Wissenschaftliche Mitarbeitende (HPA-A)	21,97	20,6
	Wiss.-Technische Mitarbeitende (HPA-B)	1	17,75*
	Technische Mitarbeitende (HPA-C)	1	0
	Technische Mitarbeitende (HPA-D)	8,5	0

* Davon 6 PM von der Forschungseinrichtung eigenfinanziert.

- **Geräte (Einzelansatz B des Finanzierungsplans)**

Tabelle 2: Sachmitteleinsatz

Berichtszeitraum (12/2022 – 09/2025)	IPH	LFM
High-End Workstation	7.815,00 € (2024)	
IBA-Messsystem		17.523,94 € (2025)
IO-Link-Messsystem		9.346,83 € (2025)

Die leistungsstarke Rechenkapazität war zur Entwicklung der RAG-Infrastruktur und dem damit verbundenen Einsatz eines großen Sprachmodells (vgl. Abschnitt 1.4) sowie für das Testen der Umgebung notwendig.

Die beschaffte Messtechnik war zur präzisen und synchronen Erfassung der für das Projekt erforderlichen Prozess- und Zustandsdaten notwendig. Sie bildete die zentrale Grundlage für den digitalen Retrofit an der Schmiedeanlage und ermöglichte damit die Entwicklung des KI-basierten Demonstrators.

- **Leistungen Dritter (Einzelansatz C des Finanzierungsplans)**

→ Leistungen Dritter sind nicht beantragt und auch nicht in Anspruch genommen worden.

3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die im Forschungsprojekt DiReProFit geleistete Arbeit entspricht mit den beschriebenen Änderungen in der Herangehensweise dem bewilligten Antrag und war für die Erreichung der im Projekt angestrebten Ziele notwendig und angemessen.

Die intensive Zusammenarbeit mit dem PA, die kontinuierliche Abstimmung mit externen Fachexperten sowie die methodisch fundierte Durchführung der Arbeitspakete haben die Relevanz des identifizierten Problems und die Zielsetzung des Projekts bestätigt: KMU benötigen praxistaugliche Hilfestellungen bei der Planung und Durchführung eines Retrofits im Bereich Digitalisierung. Dafür ist eine niederschwellige Vorbetrachtung des Themas sinnvoll, bevor Fachexperten entgeltlich zu Rate gezogen werden.

In vielen KMU fehlen Ressourcen, um Bestandsmaschinen ohne Industrie-4.0-Schnittstellen systematisch zu digitalisieren. DiReProFit schließt diese Lücke mit einem herstellerunabhängigen, KI-gestützten Software-Demonstrator für die Vorbereitung eines digitalen Retrofits: Er kombiniert eine datenbasierte Potentialanalyse, die Auswahl geeigneter Sensorik und Schnittstellen sowie eine nutzerfreundliche Dialogführung, die konkrete Retrofitempfehlungen liefert. Die Lösung basiert auf einer gemeinsam mit dem PA iterativ konzipierten Datenbasis und wurde in einem repräsentativen Warmmassivumform-Prozess unter Praxisbedingungen erprobt.

Die Notwendigkeit des Vorhabens zeigte sich in der Analyse der Ausgangslage: Ältere Hämmer und Pressen verfügen häufig über keine geeigneten Datenzugänge; Entscheidungen zum Retrofit erfolgen daher

unsicher und mit hohem Aufwand. Rückmeldungen der Praxispartner bestätigen, dass der DiReProFit-Ansatz Verantwortliche befähigt, Digitalisierungs- und Retrofitpotentiale frühzeitig, strukturiert, datensicherheitskonform und ohne tiefes Spezialwissen zu planen – inklusive Sensorvorauswahl, Integrationspfaden und erwarteten Effekten.

Der personelle und technische Aufwand für Datenerhebung, Sensorauswahl und -applikation, sowie Entwicklung des Demonstrators ist vor dem Projektziel als angemessen zu bewerten. Standardmethoden allein genügen nicht, um eine automatisierte, KI-gestützte Retrofitempfehlung mit übertragbarer Sensorauswahl bereitzustellen. Die gewählte Tiefe – von der Potentialanalyse über detaillierte Fachgespräche und Feldtests bis zur Chat-basierten Retrofitempfehlung – war entscheidend, um die passenden Ergebnisse zu erzielen und die Anwendbarkeit in KMU sicherzustellen.

Angesichts der erreichten Ergebnisse und des Innovationsgrads ist die Förderung gerechtfertigt: DiReProFit liefert eine praxisnahe, skalierbare und datenschutzkonforme Lösung, die KMU befähigt, digitale Retrofits gezielt zu planen und prozessbezogene Ziele zu realisieren (z. B. reduzierte Stillstände, effizientere Prozesse, verbesserte Qualität). Der gemeinsam von IPH und LFM entwickelte Demonstrator, dessen Beta-Versionen mit dem PA erprobt und nach Projektende als Open-Source bzw. Web-Dienst bereitgestellt werden, trägt unmittelbar zum Technologietransfer und zur Wettbewerbsfähigkeit der Branche bei. Damit sind Aufwand, Nutzen und Ergebnisqualität in einem ausgewogenen Verhältnis.

4 Darstellung des wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Nutzens der erzielten Ergebnisse insbesondere für KMU sowie ihres innovativen Beitrags und ihrer industriellen Anwendungsmöglichkeiten

Das Forschungsprojekt DiReProFit hatte das Ziel, einen Softwaredemonstrator zu entwickeln, der speziell auf die Bedürfnisse von KMU bei der Durchführung von digitalen Retrofits zugeschnitten ist. Die im Projekt erzielten Ergebnisse bieten sowohl aus wissenschaftlich-technischer als auch aus wirtschaftlicher Perspektive einen hohen Nutzen und stellen eine Innovation im Bereich der Retrofits dar.

Im wissenschaftlich-technischen Sinne wurde durch die Kombination von Experten-Datenbasis und Sprachmodell eine softwaregestützte Hilfestellung geschaffen, sodass kostenintensive Vorexplorations durch Dritte entfallen und Eigenerhebungen deutlich reduziert werden. Besonders hervorzuheben ist die Datensicherheit des entwickelten Systems, die es erlaubt, unabhängig vom Betriebssystem, die KI lokal im Unternehmen einzusetzen ohne Daten in das Internet zu übertragen. Die zugrundeliegende Hardware muss jedoch performant sein. Gleichzeitig können die Daten jederzeit auch um interne Unternehmensdokumente erweitert werden, sodass das System weiterentwicklungsfähig bleibt. Die Bereitstellung in Form eines Chatbots ermöglicht eine einfache und intuitive Anwendung ohne spezielles Fachwissen, was die praktische Nutzbarkeit in KMU sichert.

Auch aus wirtschaftlicher Sicht ergeben sich Vorteile für KMU. Diese verfügen häufig weder über die personellen Ressourcen noch über das Budget, um externe Fachkräfte für die Retrofitplanung einzusetzen. Das im Projekt entwickelte System bietet eine kosteneffiziente und dennoch hinreichend präzise Lösung, mit der Unternehmen basierend auf dem allgemeinen Datensatz und ihren eigenen Dokumenten ihre Retrofitvorhaben selbstständig bewerten und verbessern können. Für typische Erstbewertungen sind längere

Antwortzeiten auf bestehender Hardware (z. B. Laptops) tolerierbar; bei häufiger Nutzung wird eine Serverinstallation empfohlen. Durch die flexible technische Umsetzung ist das System sowohl in Einzel-PCs, Workstations als auch als Serveranwendung einsetzbar. Mit dem entwickelten System lassen sich eigene Anlagenverbesserungen geeignet vorbereiten und einschätzen, was die Rechtfertigung weiterer Investitionen erleichtert.

Die Möglichkeit, entweder mit nur der allgemeinen Datenbasis oder lokal erweiterter Unternehmensinhalte zu arbeiten, gewährleistet zusätzlich die Wahrung der Betriebsgeheimnisse und fördert so die Akzeptanz in der Unternehmensführungsebene. In der industriellen Anwendung eröffnet das System eine leicht nutzbare Hilfestellung als Initialzündung für ein Projekt zum digitalen Retrofit. Es kann zur Vorbetrachtung bereits in der Planungsphase neuer Anlagen genutzt werden oder in der laufenden Produktion zur Identifikation von möglichen Problemstellen bzw. Verbesserungsmöglichkeiten beitragen. Insbesondere KMU, die noch nicht durchgehende bzw. überhaupt keine digitalisierten Produktionsprozesse einsetzen, profitieren von einem schnellen, skalierbaren und einfach bedienbaren System, das ohne tiefes Expertenwissen eingesetzt werden kann. Damit leistet DiReProFit einen wichtigen Beitrag zur langfristigen Innovationssicherung, zur Effizienzsteigerung in KMU und zur Verbreitung innovativer, digital gestützter Retrofitkonzepte in der industriellen Praxis.

5 Wissenstransfer in die Wirtschaft

Der Wissenstransfer in die Wirtschaft erfolgte im Rahmen des Projekts DiReProFit auf mehreren Ebenen: Zum einen wurden die Ergebnisse im PA regelmäßig mit Vertreterinnen und Vertretern aus der Praxis diskutiert und weiterentwickelt. Zum anderen wurden die entwickelten Methoden und der Software-Demonstrator von den Mitgliedern des PA unter Realbedingungen getestet und evaluiert.

Darüber hinaus wurden zentrale Erkenntnisse über Online-Plattformen sowie Print- und Webveröffentlichungen einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Der entwickelte Quellcode und die allgemeine Datenbasis wurden auf GitHub veröffentlicht, um interessierten Unternehmen einen direkten Zugang zur Technologie zu ermöglichen und den Transfer in weitere Anwendungen zu fördern.

Der Demonstrator bleibt in der vorhandenen Ausführung erweiterbar und kann über GitHub weiter für einen erweiterten Einsatz entwickelt und verbessert werden.

6 Durchgeführte Transfermaßnahmen

Tabelle 3: Transfermaßnahmen während der Laufzeit des Vorhabens

Transfermaßnahme	Zweck/Ziel	Plattform	Zeitplan	Durchführung
Faktendatenbank-eintrag	Vorstellung der Ziele (zum Projektstart) und Zwischenergebnisse	Homepage des Industrieverbandes Massivumformung: www.massivumformung.de	2 x/Jahr, Update jeweils zu den PA-Sitzungen	1. Abstimmung: 16.11.2023 2. Abstimmung 12.04.2024 3. Abstimmung 09.10.2024 4. Abstimmung 12.03.2025 5. Abstimmung 26.08.2025
Sitzungen des Projektbegleitenden Ausschusses (PA)	Vorstellung und Diskussion der Zwischenergebnisse, Abstimmung detaillierte Zeitplanung, Maßnahmen	Tagungsräume des IMU, des Instituts/eines Unternehmens des PA oder digital	ca. 2 x/Jahr während der Projektlaufzeit	1. Sitzung: 16.11.2023 2. Sitzung: 12.04.2024 3. Sitzung: 09.10.2024 4. Sitzung: 12.03.2025 5. Sitzung: 26.08.2025
Präsentation der Zwischenergebnisse	Vorstellung der Ziele und Zwischenergebnisse, Diskussion	IMU-Arbeitskreissitzungen: Schmiedeleiter, Instandhaltung, Automatisierung und Massivumformung 4.0 und Ausschuss F+T	1x/Jahr	PA-Sitzungen
Forschungsreport	Zusammenfassung der Ziele und Zwischenergebnisse	Forschungsgesellschaft Stahlverformung e.V. (FSV-Homepage)	1 x/Jahr (im 2. Quartal) während der Projektlaufzeit Forschungsreport wird nach fsv-Bestimmung ab 2025 nicht mehr weitergeführt	Zwischenbericht 2023 Zwischenbericht 2024
Pressemitteilung, Jahresbericht, Webpräsenz	Information der Öffentlichkeit über Forschungsaktivitäten der Institute (inkl. Forschungsziele und ggf. Zwischenergebnisse)	Institut (Homepage) Presseverteiler (Mail) Newsletter	zu Beginn der Projektlaufzeit und projektbegleitend	IPH-Webseite: 08/23 LFM-Webseite: 04/23 IPH-Pressinformation: 20.03.2024 Jahresbericht IPH 2024
Soziale Medien	Verteilung von Zwischenergebnissen und relevanten Erkenntnissen über Social-Media-Plattformen – mit Bild-, Text-, Ton- und Videomaterial.	Twitter Instagram Xing LinkedIn Facebook YouTube	während der Projektlaufzeit	LFM-LinkedIn: Q1/23 IPH-LinkedIn: Q2/24
Fachvorträge	Ergebnistransfer /Austausch mit Experten aus Industrie und Forschung, insofern seitens des PA bereits während der Laufzeit erwünscht	z. B. Internationale Konferenz: ESAFORM	während der Projektlaufzeit	19.02.2025: Vortrag im Kolloquium „Produktionstechnologien an HAWs“ der FH SWF
Fachzeitschriften	Ergebnistransfer /Austausch mit Experten aus Industrie und Forschung, insofern seitens des PA bereits während der Laufzeit erwünscht	z. B. Forging, UMFORMtechnik, VDI-Z	während der Projektlaufzeit	K-Zeitung online 21.3.2024 VWI online 22.3.2024 IT&Production online 9.4.2024 Service&Maintenance (Wartung&Instandhaltung) online 2024

Einbinden von Studenten	Qualifizierung von Studenten	Projekt-/Studien-/Bachelor-/Masterarbeiten, Praktika	fortlaufend während der Projektlaufzeit	IPH: Praktikum Energieerfassungsinfrastruktur 08/24-01/25
-------------------------	------------------------------	--	---	--

7 Geplante spezifische Transfermaßnahmen nach der Projektlaufzeit

Tabelle 4: Geplante spezifische Transfermaßnahmen (auch nach Abschluss des Vorhabens)

Transfermaßnahme	Zweck/Ziel	Plattform	Zeitplan
Veröffentlichung in einer Fachzeitschrift	Information von Fachleuten über Ergebnisse abgeschlossener Forschungsprojekte	i. A.: massivUMFORMUNG (IMU), alternativ andere Fachzeitschriften	phi online 24.03.2026 https://doi.org/10.48811/phi-26-005
Tagungsband der Projektpräsentation	Information von Fachleuten über Ergebnisse abgeschlossener Forschungsprojekte	IMU-Homepage: www.massivumformung.de	Verteilung zur Präsentation zur Schmiedeleiterrunde vom 2.12.2025
Faktendatenbank-eintrag	Vorstellung der Ziele und Abschlussergebnisse	IMU-Homepage: www.massivumformung.de	ab 04/2026
Lessons Learned	Verbesserungspotenziale in der Projektierung und Umsetzung ermitteln	Tagungsräume des IMU, des Instituts oder eines Unternehmens des PA	ca. 1 Monat nach Projektende
Anwenderschulung	Schulung zum Umgang mit dem Software-demonstrator	Web-Konferenz MS Teams o.ä.	ca. 1 Monat nach Projektende
Präsentation der Abschlussergebnisse	Vorstellung der Ziele und Abschlussergebnisse, Umsetzung in die Praxis	IMU-Arbeitskreissitzungen: Schmiedeleiter, Instandhaltung, Automatisierung und Massivumformung 4.0 und Ausschuss F+T	Schmiedeleiterrunde 2.12.2025 06.-07.10.2025 International Forging Congress (Poster)
Fachvorträge	Ergebnistransfer /Austausch mit Experten aus Industrie und Forschung, insofern seitens des PA bereits während der Laufzeit erwünscht	z. B. Internationale Konferenz: ESAFORM	Poster von 10/2025 und Kolloquiumsvortrag von 2/2025 auf Researchgate 09.06.2026 CastForge Bühne vor der IMU Jahrestagung 2026
Abschlussbericht	Bericht über Ziele, Vorgehensweise und detaillierte Ergebnisse	Forschungsgesellschaft Stahlverformung e.V. und IMU	ab 04/2026 in der IMU Faktendatenbank und der IPH Webseite
Jahresbericht	Information der Öffentlichkeit über Forschungsaktivitäten der Institute (inkl. Forschungsziele und -ergebnisse)	Institut	Jahresbericht 2025
Newsletter Soziale Medien Podcast	Die Ergebnisse des Projekts einer breiten Öffentlichkeit zugänglich machen.	Twitter, Instagram, Xing, LinkedIn, Facebook, YouTube	Nach Abschluss
Leitfaden	Für Unternehmen zur Orientierung bei der Einführung	Institut	im GitHub-Repository vorhanden
Vorlesungsinhalt	Ausbildung im Rahmen der digitalen Transformation im Maschinenbau	E-Learning Plattform Moodle	bis 1 Jahr nach Projektende

8 Literaturverzeichnis

- [1] J. Gausemeier und C. Plass, Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung: Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen, 2. Auflage Hrsg., München: Carl Hanser Verlag, 2014.
- [2] VDMA - Forum Industrie 4.0, „Leitfaden Retrofit für Industrie 4.0,“ VDMA Verlag GmbH, Frankfurt am Main, 2020.
- [3] D. Tantscher und B. Mayer, „Digital Retrofitting of legacy machines: A holistic procedure model for industrial companies,“ *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, Nr. 36, p. 35–44, 2022.
- [4] S. Ilari, F. Carlo, F. Ciarapica und M. Bevilacqua, „Machine Tool Transition from Industry 3.0 to 4.0: A Comparison between Old Machine Retrofitting and the Purchase of New Machines from a Triple Bottom Line Perspective.,“ *Sustainability*, Nr. 13, 10441, pp. 1-21, 2021.
- [5] M. Arslan und C. Cruz, „Business-RAG: Information Extraction for Business Insights,“ in *Proceedings of the 21st International Conference on Smart Business Technologies (ICSBT 2024)*, Dijon, Frankreich, 2024.