

Verbundprojekt AutoOpp 2.0:  
Automatische Erkennung des Arbeitsplanes von  
Konstruktionsdaten

Förderkennzeichen 16IS22059

## Schlussbericht

Kooperationspartner im Verbundprojekt

<b>Unternehmen</b>	<b>Forschungspartner</b>
<b>Easy2Parts GmbH</b> Ulrichsbergerstraße 17 94469 Deggendorf Germany	<b>Technische Hochschule Deggendorf</b> Dieter-Görlitz-Platz 1 94469 Deggendorf Germany

**Projektstart:** 01.03.2023

**Projektende:** 30.04.2025

### Autoren

Dr. Max Grieshammer (Easy2Parts GmbH)

Email: mgrieshammer@easy2parts.com

Prof. Dr. Florian Wahl

Email: florian.wahl@th-deg.de

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 16IS22059 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin/beim Autor.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>4</b>
<b>2. Problemstellung</b> .....	<b>6</b>
<b>3. Projektpartner</b> .....	<b>7</b>
<b>4. Darstellung der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten</b> .....	<b>9</b>
4.1 Arbeitspaket 1 – Aufbau der Datenbasis und Annotation .....	9
4.2 Arbeitspaket 2 – 3D-Merkmale und Merkmalsselektion .....	11
4.3 Arbeitspaket 3 – KI-Methodik und Arbeitsplanerstellung .....	13
4.4 Arbeitspaket 4 – Evaluation und Transfer .....	17
4.5 Arbeitspaket 5 – Dissemination und wissenschaftliche Begleitung .....	18
4.6 Zusammenfassung .....	19
4.7 Workflow und Demonstrator .....	19
<b>5. Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises</b> .....	<b>21</b>
<b>6. Fortschritt anderer Stellen während des Vorhabens</b> .....	<b>22</b>
Quellenverzeichnis .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
<b>7. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses</b> .....	<b>23</b>
<b>8. Erfolge und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse</b> .....	<b>25</b>
<b>9. Fazit</b> .....	<b>25</b>

### 1. Einleitung

Das Vorhaben *AutoOPP 2.0* wurde im Rahmen der Förderung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) durchgeführt und hatte das Ziel, Methoden zur automatisierten Unterstützung der Arbeitsplanerstellung in der Fertigung zu entwickeln. Grundlage waren digitale Konstruktionsinformationen in Form von 2D-Zeichnungen und 3D-Modellen, ergänzt um Angaben zur gewünschten Stückzahl und historischen Businessdaten. Mithilfe von Verfahren der Künstlichen Intelligenz (KI) sollten aus diesen Eingangsdaten geeignete Fertigungsmethoden identifiziert, Arbeitsschritte abgeleitet und die Bauteile den jeweils optimalen Fertigungsbetrieben zugeordnet werden.

Die Motivation für das Vorhaben ergibt sich aus den aktuellen Herausforderungen in der Beschaffung von Fertigungsteilen. Insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU) verfügen häufig nicht über ausreichendes Markt- und Prozesswissen, um für ein spezifisches Bauteil den optimalen Lieferanten hinsichtlich Preis, Qualität und Lieferzeit

auszuwählen. Gleichzeitig entstehen auf Seiten der Fertigungsbetriebe hohe Aufwände für die manuelle Prüfung technischer Zeichnungen und die Angebotserstellung, die nicht immer zu einer Beauftragung führen. Daraus resultieren Ineffizienzen auf beiden Seiten: Einkäufer müssen zahlreiche Angebote prüfen, während Lieferanten viel Zeit in Anfragen investieren, die nicht zu ihrem Fertigungsspektrum passen.

Die Auswahl geeigneter Fertigungstechnologien ist zudem stark stückzahlabhängig und durch fließende Übergänge zwischen den Verfahren geprägt. Während kleine Losgrößen wirtschaftlich meist über flexible Verfahren wie Laserschneiden oder 3D-Druck hergestellt werden, rechtfertigen größere Serien den Einsatz werkzeuggestützter Technologien wie Stanzen oder Gießen. Eine eindeutige Abgrenzung ist jedoch kaum möglich, da zusätzlich Faktoren wie Bauteilgeometrie, Werkstoff, Toleranzanforderungen und Preisentwicklungen eine entscheidende Rolle spielen. Diese Komplexität erschwert es, die wirtschaftlichste Fertigungsmethode eindeutig zu bestimmen.

Im Projekt wurde daher ein datengetriebener Ansatz entwickelt, der Konstruktionsdaten systematisch auswertet, Merkmale aus 2D- und 3D-Modellen extrahiert und diese mit stückzahl- sowie preisbasierten Modellen verknüpft. Auf dieser Grundlage konnten Fertigungsmethoden abgeleitet und Bauteilkosten geschätzt werden. Die daraus gewonnenen Ergebnisse bilden die Basis für Ansätze zur automatisierten Arbeitsplanerstellung und insbesondere zur gezielten Zuordnung geeigneter Lieferanten. Dabei zeigte sich, dass die Kombination aus technologischen Merkmalen und historischen Preisdaten eine praxisnahe und marktorientierte Entscheidungsgrundlage bietet.

Zu den zentralen Projektergebnissen zählen der Aufbau einer umfangreichen Datenbasis, die Entwicklung von Verfahren zur Merkmalsextraktion und die Erprobung verschiedener Klassifikations- und Regressionsmodelle. Damit konnte gezeigt werden, dass KI-basierte Methoden einen wesentlichen Beitrag zur Automatisierung der Arbeitsvorbereitung leisten und gleichzeitig eine effizientere Abstimmung zwischen Einkäufern und Fertigungsbetrieben ermöglichen.

Das Projekt verfolgte sowohl wissenschaftliche als auch wirtschaftliche Zielsetzungen. Einerseits wurden neuartige KI-Methoden zur datenbasierten Fertigungsplanung erforscht, andererseits ergeben sich für die industrielle Praxis unmittelbare Mehrwerte: Einkäufer profitieren von gezielteren, technologisch passenden Angeboten, während Lieferanten Anfragen erhalten, die ihrem Fertigungsprofil entsprechen und dadurch ihren Kalkulationsaufwand reduzieren.

Der vorliegende Schlussbericht dokumentiert den Verlauf des Projekts, vergleicht den erreichten Stand mit den geplanten Zielen und stellt die wesentlichen Ergebnisse dar. Darüber hinaus werden die Verwertbarkeit der Resultate, ihre Anschlussfähigkeit für Wissenschaft und Industrie sowie mögliche nächste Schritte beschrieben.

## 2. Problemstellung

Die Beschaffung individueller Fertigungsteile stellt Unternehmen – insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU) – vor erhebliche Herausforderungen. Preis, Lieferzeit und Verfügbarkeit sind für Einkäufer die entscheidenden Kriterien. Um den jeweils besten Fertigungsbetrieb zu identifizieren, ist umfassendes Marktwissen erforderlich, das in der Praxis gerade bei KMU jedoch nur unzureichend vorhanden ist. Die Folge sind zeitaufwändige und ressourcenintensive Recherchen nach geeigneten Lieferanten.

Auch auf Seiten der Fertigungsbetriebe zeigt sich eine vergleichbare Problematik. Ein großer Teil der Unternehmen arbeitet weiterhin mit manuellen Prozessen in der Angebotsbearbeitung. Eingehende Anfragen müssen händisch geprüft, Zeichnungen interpretiert und Angebote kalkuliert werden. Gerade klassische Lohnfertiger von kleiner bis mittlerer Größe investieren erhebliche Zeit in diese Arbeit, oftmals ohne Aussicht auf einen Zuschlag, da die angefragten Teile nicht zu ihrem Fertigungsportfolio passen. Dieses Missverhältnis führt zu hohen Opportunitätskosten und bindet wertvolle Ressourcen.

Hinzu kommt, dass fertigungsrelevante Informationen häufig nicht vollständig oder nicht strukturiert in digitalen 3D-Modellen enthalten sind. Wesentliche Angaben – etwa zu Werkstoffen, Normen, Oberflächen, Toleranzen oder speziellen Bearbeitungsmerkmalen – liegen in der Regel in 2D-Zeichnungen vor und müssen zusätzlich interpretiert werden. Damit entsteht für Einkäufer wie auch für Lieferanten ein Abgleich- und Interpretationsaufwand.

Eine weitere Komplexität ergibt sich aus der stückzahlabhängigen Wahl der Fertigungstechnologie. Während sich Einzelteile und Kleinserien wirtschaftlich meist durch flexible Verfahren wie 3D-Druck oder Laserschneiden fertigen lassen, rechtfertigen größere Serien den Einsatz werkzeuggestützter Verfahren wie Stanzen, Gießen oder Spritzgießen. Die Übergänge zwischen den Verfahren sind jedoch fließend und lassen sich nicht anhand einzelner Merkmale oder Preiskennzahlen eindeutig bestimmen. So hängt etwa der Wechsellpunkt zwischen Laserschneiden und Stanzen nicht nur von der Losgröße ab, sondern auch von Faktoren wie Bauteilgeometrie, Materialeigenschaften, Toleranzanforderungen und den in der Vergangenheit erzielten Preisen vergleichbarer Aufträge.

Die Intransparenz des Marktes verstärkt diese Problematik zusätzlich. Die Vielzahl spezialisierter Betriebe erschwert die passgenaue Auswahl geeigneter Lieferanten. Dies führt dazu, dass Anfragen häufig breit gestreut werden – mit der Folge, dass Einkäufer suboptimale Angebote erhalten und Lieferanten zahlreiche Anfragen bearbeiten müssen, die kaum zu einem Auftrag führen. Eine von der Easy2Parts GmbH durchgeführte Marktanalyse unter Einkaufsleitern und Geschäftsführern von Sondermaschinenbau-Betrieben mit 300 bis 2000 Beschäftigten bestätigt dieses Bild: Die Auswahl der optimalen Fertigungstechnologie und die Zuordnung zu passenden Lieferanten gehören zu den zentralen operativen Herausforderungen in der Praxis.

Die bestehenden Defizite lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Hoher manueller Aufwand bei Recherche, Angebotsprüfung und -erstellung.
2. Fehlendes Marktwissen in KMU zur Einschätzung geeigneter Lieferanten.
3. Unvollständige und verstreute Datenlage (viele fertigungsrelevante Informationen nur in 2D-Zeichnungen).
4. Keine systematische Unterstützung bei der stückzahl- und preisabhängigen Verfahrensauswahl.
5. Intransparenter Markt ohne etablierte Softwarelösung zur automatisierten Verknüpfung von Bauteilen und geeigneten Fertigungsbetrieben.

Aus wissenschaftlicher Sicht ergibt sich eine deutliche Lücke. Zwar existieren zahlreiche Arbeiten zu einzelnen Fertigungstechnologien wie Zerspanung, 3D-Druck oder Laserschneiden. Es fehlt jedoch ein systematischer Ansatz, der die stückzahl- und preisabhängigen Übergänge zwischen Verfahren modelliert und daraus sowohl Arbeitspläne als auch eine belastbare Zuordnung zu Lieferanten ableiten kann.

Die zentrale Forschungsfrage des Projekts lautete daher: Wie kann Künstliche Intelligenz eingesetzt werden, um auf Basis von 2D- und 3D-Konstruktionsdaten, Stückzahlen und historischen Preisdaten die kostenoptimalen Fertigungsmethoden zu bestimmen, geeignete Arbeitsschritte abzuleiten und die Bauteile den passenden Lieferanten zuzuordnen?

Die Beantwortung dieser Frage ist sowohl aus wissenschaftlicher Perspektive relevant – da ein bislang ungelöstes Problem der automatisierten Arbeitsplanung adressiert wird – als auch aus wirtschaftlicher Sicht von großer Bedeutung, da KMU im internationalen Wettbewerb gestärkt und zugleich Transparenz und Effizienz im Fertigungsmarkt erhöht werden.

### **3. Projektpartner**

Das Vorhaben wurde als Verbundprojekt von zwei Partnern durchgeführt, die ihre jeweiligen Stärken einbrachten. Easy2Parts (E2P) übernahm die praxisnahe Umsetzung und Integration in industrielle Kontexte, während die Technische Hochschule Deggendorf (THD) methodische und wissenschaftliche Beiträge beisteuerte. Die enge Verzahnung von Anwendungskompetenz und Forschung erwies sich als entscheidender Erfolgsfaktor.

#### **3.1 Easy2Parts GmbH (E2P)**

Die Easy2Parts GmbH ist ein Industrieunternehmen mit Sitz in Deggendorf, das sich auf die digitale Beschaffung von Fertigungsteilen spezialisiert hat. Mit dem etablierten Online-Marktplatz und dem eigenen KI-Produkt *PartSpace* verfügt E2P über direkten Zugang zu einem breiten Netzwerk von Einkäufern und Lieferanten. Gleichzeitig besitzt das Unternehmen eine ausgeprägte Expertise in der Entwicklung und Anwendung datengetriebener KI-Verfahren. Damit nimmt E2P eine führende Rolle in der intelligenten Analyse von Konstruktionsdaten und der Optimierung von Einkaufsprozessen ein.

Im Projekt übernahm E2P zentrale Aufgaben:

- Aufbau und Erweiterung der Test- und Trainingsdatenbasis (insbesondere 2D- und 3D-Konstruktionsdaten),
- Entwicklung von Verfahren zur Merkmalsextraktion aus Zeichnungen und Modellen,
- Definition und Durchführung des Annotationsprozesses,
- Forschung zur Zerlegung komplexer Bauteile und Baugruppen sowie Ansätze zur Arbeitsplanerstellung,
- Evaluation der Methoden, inklusive Nachlabelprozessen,

Damit stellte E2P sicher, dass die Projektergebnisse praxisnah geprüft und unmittelbar in industrielle Anwendungen überführt werden können.

### ***3.2 Technische Hochschule Deggendorf (THD)***

Die THD brachte ihre Expertise in den Bereichen Künstliche Intelligenz, Data Mining und Produktionsinformatik ein. Sie unterstützte das Projekt mit methodischen Beiträgen und wissenschaftlicher Begleitung.

Zu den Aufgaben der THD zählten:

- Aufbau einer Merkmalsdatenbank aus frei verfügbaren Quellen mittels Text Mining,
- Anpassung von Annotationstools zur effizienten Datenerstellung,
- Durchführung der Merkmalsselektion zur Optimierung der Modellgüte,
- Vergleich und Evaluation verschiedener Klassifikations- und Regressionsverfahren,

Die THD sorgte so für die methodische Fundierung und wissenschaftliche Einordnung des Vorhabens.

### ***3.3 Zusammenarbeit im Verbund***

Die Zusammenarbeit zwischen E2P und THD war geprägt von enger Abstimmung und einem konstruktiven Miteinander. Während E2P den Schwerpunkt auf die Umsetzung und den Transfer in die Praxis legte, ergänzte die THD das Projekt durch methodische Expertise und wissenschaftliche Begleitung. Durch diese Aufgabenteilung konnten die entwickelten Verfahren sowohl theoretisch fundiert als auch praktisch erprobt werden.

Ein besonderes Merkmal der Kooperation war die Flexibilität der Partner: Herausforderungen im Projektverlauf wurden gemeinsam aufgefangen, sodass der Zeit- und Arbeitsplan eingehalten werden konnte. Die enge Verzahnung von Forschung und Anwendung stellte sicher, dass die Projektergebnisse sowohl wissenschaftlich belastbar als auch unmittelbar industriell verwertbar sind.

## 4. Darstellung der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Die im Projekt *AutoOPP 2.0* durchgeführten Arbeiten verfolgten das Ziel, den Prozess der Arbeitsplanerstellung und Fertigungsbetriebszuordnung auf Basis von Konstruktionsdaten systematisch zu automatisieren. Dazu wurden in mehreren aufeinander aufbauenden Schritten Methoden zur Merkmalsextraktion, Klassifikation von Fertigungstechnologien und Preisabschätzung erforscht, umgesetzt und evaluiert.

Die Notwendigkeit der Arbeiten ergibt sich aus der hohen Komplexität und Heterogenität der Fertigungsdaten: 2D-Zeichnungen, 3D-Modelle und wirtschaftliche Parameter mussten in einem einheitlichen Datenmodell zusammengeführt werden, um eine zuverlässige Entscheidungsgrundlage für die Auswahl geeigneter Fertigungstechnologien und Lieferanten zu schaffen. Jeder Arbeitsschritt – von der Datenaufbereitung bis zur Visualisierung der Ergebnisse in einem Demonstrator – trug dabei unmittelbar zur Realisierung des Gesamtziels bei.

Zur Veranschaulichung des Ergebnisses wurde ein funktionaler Demonstrator entwickelt, der den vollständigen Workflow des Projekts abbildet:

1. **Feature-Extraktion:** Automatische Erkennung und Verarbeitung technischer Merkmale aus 2D- und 3D-Konstruktionsdaten.
2. **Arbeitsplanerstellung:** Sequenzierung und Auswahl potenzieller Fertigungsschritte auf Basis der ermittelten Merkmale.
3. **Supplierwahl:** Automatisierte Zuordnung von Bauteilen zu Fertigungsbetrieben unter Berücksichtigung von Preis, Stückzahl und Technologiekompetenz.

Die nachfolgenden Abschnitte (4.1 – 4.6) beschreiben die einzelnen Arbeitspakete im Detail; der resultierende Workflow und Demonstrator werden abschließend in Kapitel 4.7 zusammengefasst und visualisiert.

### 4.1 Arbeitspaket 1 – Aufbau der Datenbasis und Annotation

**Notwendigkeit:** Die Schaffung einer qualitativ hochwertigen und strukturierten Datenbasis war eine zentrale Voraussetzung für die Entwicklung und das Training der KI-Modelle im Projekt. Nur auf Grundlage umfangreicher, verlässlicher und maschinenlesbarer Daten können Verfahren zur automatisierten Analyse von Konstruktionszeichnungen und Modellen belastbar trainiert und evaluiert werden. Da fertigungsrelevante Informationen in der Praxis oft in heterogenen Formaten vorliegen – beispielsweise unstrukturiert in 2D-Zeichnungen oder verstreut über verschiedene Datenquellen – war es notwendig, eine konsistente, zentral gepflegte und annotierte Datenbank aufzubauen. Diese Datenbasis dient als Grundlage für die spätere Merkmalsextraktion, die Modellierung von Fertigungsverfahren sowie die Kosten- und Lieferantenzuordnung.

**Durchgeführte Arbeiten:** Im Rahmen des Arbeitspakets wurden drei Teilbereiche bearbeitet:

- **Aufbau einer Merkmalsdatenbank (AP 1.1):** Die Technische Hochschule Deggendorf (THD) entwickelte im Rahmen des Arbeitspakets 1.1 einen automatisierten Webcrawler, der Produktinformationen von Online-Plattformen und Halbzeughändlern systematisch erfasste. Dieser extrahierte Abmessungen, Werkstoffe, Preise und Normen und legte diese in einer strukturierten Merkmalsdatenbank ab (siehe Abbildung 1). Hierbei wurde der Webcrawler mithilfe des Frameworks *Selenium* umgesetzt und mit einem graphentheoretischen Suchalgorithmus kombiniert. Dieser erkundete die möglichen Produktkonfigurationen effizient über einen n-ären Suchbaum und führte eine automatisierte Tiefensuche durch.
- **2D-Datenextraktion (AP 1.2):** Es wurden Verfahren zur automatisierten Erkennung und Extraktion von Informationen aus technischen 2D-Zeichnungen entwickelt. Dabei konnten Merkmale wie Materialien, Normen, Schlagwörter, Form- und Lagetoleranzen, Oberflächenrauheiten, Gewinde, Passungen und Schweißsymbole identifiziert werden. Die erzielte Extraktionsqualität ist insgesamt als gut bis sehr gut zu bewerten und stellt einen wichtigen Baustein für die Merkmalsanalyse dar.
- **Annotationsprozess (AP 1.3):** Für den Aufbau der Trainingsdaten wurde ein strukturierter Annotationsprozess mit integriertem Review-Verfahren entwickelt, um die Qualität der Daten sicherzustellen. Hierzu wurde ein projektspezifisches Annotationstool aufgesetzt und technisch angepasst. Die THD unterstützte die Easy2Parts GmbH bei der Implementierung von Python-basierten Routinen zum Einlesen, Bereinigen (De-Duplizieren) und Vorverarbeiten der Daten. Insgesamt wurden 25 Annotationskategorien definiert, die sowohl Symbole und geometrische Merkmale als auch Fertigungsmethoden umfassen.

```
product_name "Blankstahl Rund 42CrMo54 (1.7227) kaltgezogen / geschält vergütet h9"  
html ""  
▾ configurations  
  ▾ {'Durchmesser': '10', 'Länge': '3.000'}  
  ▾ {'Durchmesser': '12', 'Länge': '3.000'}  
  ▾ {'Durchmesser': '16', 'Länge': '3.000'}  
  ▾ {'Durchmesser': '20', 'Länge': '3.000'}  
  ▾ {'Durchmesser': '20', 'Länge': '6.000'}  
  ▾ {'Durchmesser': '22', 'Länge': '3.000'}  
  ▾ {'Durchmesser': '25', 'Länge': '3.000'}  
  ▾ price_1  
    price "23.175,17 € / 1000 kg"  
    price_range "1.950,00 - 23.175,17 / 1000 kg"  
    qty 1  
    total_price "267,88 €"  
    total_weight "11,559 kg"  
  ▾ price_10  
    price "3.709,82 € / 1000 kg"  
    price_range "1.950,00 - 23.175,17 / 1000 kg"  
    qty 10  
    total_price "428,82 €"  
    total_weight "115,59 kg"
```

Abbildung 1: Datenbankauszug: Stückzahlabhängiger Preis und Produkt-Konfiguration eines Halbzeugs

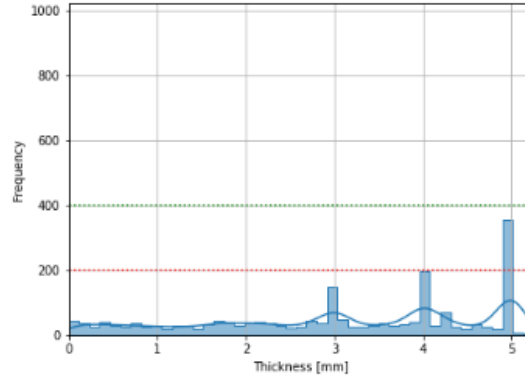
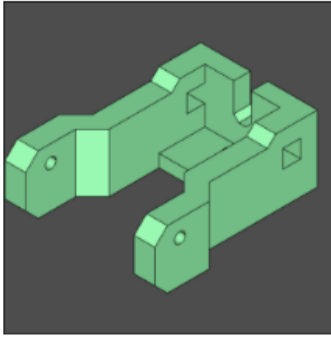
**Angemessenheit:** Die im Arbeitspaket 1 durchgeführten Arbeiten waren sowohl inhaltlich als auch methodisch notwendig und angemessen, um die nachfolgenden Forschungsschritte zu ermöglichen. Mit der erfolgreichen Umsetzung aller Teilpakete wurde eine belastbare Datengrundlage geschaffen, die den hohen Anforderungen an Konsistenz, Struktur und Qualität entspricht. Die Arbeitspakete wurden vollständig abgeschlossen. Die entstandene Datenbasis bildet eine wesentliche Voraussetzung für die nachfolgenden Arbeitspakete zur Merkmalsextraktion, Klassifikation und Kostenmodellierung.

## 4.2 Arbeitspaket 2 – 3D-Merkmale und Merkmalsselektion

**Notwendigkeit:** Während sich Arbeitspaket 1 auf die Erfassung und Annotation zweidimensionaler Zeichnungsdaten konzentrierte, war es im Arbeitspaket 2 erforderlich, auch dreidimensionale Konstruktionsdaten systematisch zu analysieren. 3D-Modelle enthalten eine Vielzahl geometrischer und topologischer Informationen, die für die Ableitung von Fertigungsschritten und die Auswahl geeigneter Fertigungsverfahren entscheidend sind. Eine strukturierte Erfassung dieser Merkmale bildet die Grundlage für die spätere Klassifikation und Kostenabschätzung im Rahmen der KI-Modelle.

**Durchgeführte Arbeiten:** Im Rahmen des Arbeitspakets wurden Verfahren zur automatisierten Analyse von 3D-Modellen entwickelt und angewendet. Dabei erfolgte die Merkmalsextraktion in mehreren Ebenen:

- **Allgemeine geometrische Merkmale (AP 2.1):** Erfasst wurden unter anderem Volumen, Oberflächen, Bauteilgröße, Trägheitstensor, sowie die Zerlegung des Bauteils in elementare Geometrien wie Flächen, Zylinder oder Kegel.
- **Fertigungseinschränkende Merkmale (AP 2.2):** Diese beinhalten unter anderem Rotationssymmetrie, Spanvolumen und Materialdicke. Sie dienen dazu, mögliche Fertigungsverfahren einzuschränken und die technologische Machbarkeit zu bewerten.
- **Merkmale zur Erkennung zusätzlicher Fertigungsschritte (AP 2.3):**  
*Spezifische Bearbeitungsmerkmale:* Dazu zählen Bohrlöcher, Senkungen, Biegungen und Fasen, die Rückschlüsse auf konkrete Fertigungsschritte und Werkzeuganforderungen erlauben.  
*Abstrakte Merkmale:* Ergänzend wurden übergeordnete Strukturbeschreibungen wie das Surface Orientation Histogram und das Thickness Orientation Histogram implementiert, um die räumliche Orientierung und Materialverteilung im Bauteil statistisch zu erfassen.



- Merkmalsselektion (AP 2.4):** Aufbauend auf den extrahierten Merkmalen wurde eine Merkmalsselektion durchgeführt, um deren Relevanz im Hinblick auf die Klassifikation der Fertigungsmethode zu bewerten. Relevante und nützliche Merkmale wurden identifiziert. Die Bedeutung einzelner Merkmale wurde dabei mithilfe von *Shapley Values* quantifiziert (siehe Abbildung 2).

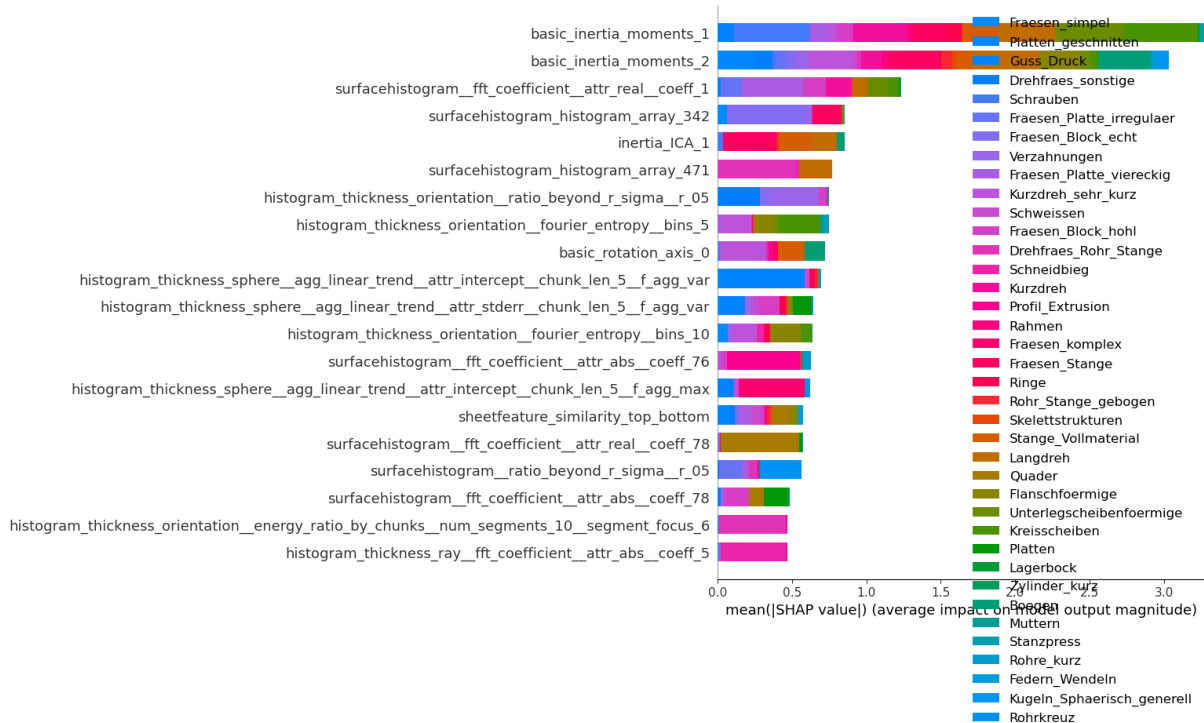


Abbildung 2: Einfluss der Merkmale auf die Klassifizierung pro Fertigungsverfahren

**Angemessenheit:** Die Arbeiten im Rahmen von Arbeitspaket 2 waren notwendig und inhaltlich folgerichtig, um eine belastbare Grundlage für die nachfolgenden KI-Verfahren zu schaffen. Die Entwicklung und Umsetzung der 3D-Datenanalyse ermöglicht eine präzise geometrische Beschreibung und liefert damit entscheidende Eingangsgrößen für Klassifikations- und Kalkulationsmodelle. Alle Teilpakete des Arbeitspakets 2 wurden planmäßig und vollständig abgeschlossen.

### 4.3 Arbeitspaket 3 – KI-Methodik und Arbeitsplanerstellung

**Notwendigkeit:** Das Arbeitspaket 3 hatte zum Ziel, Verfahren zu entwickeln, mit denen aus Konstruktionsdaten automatisiert mögliche und kostenoptimale Fertigungsmethoden abgeleitet sowie Bauteile und Baugruppen in strukturierte Arbeitspläne überführt werden können. Aufbauend auf den Ergebnissen aus den Arbeitspaketen 1 und 2 sollten hier die inhaltlichen und wirtschaftlichen Entscheidungsgrundlagen geschaffen werden, um Fertigungsprozesse datenbasiert zu planen und Bauteile den jeweils geeigneten Lieferanten zuzuordnen.

#### **Durchgeführte Arbeiten:**

- **Bestimmung der möglichen Fertigungsmethoden (AP 3.1):** Im Arbeitspaket 3.1 entwickelte die Technische Hochschule Deggendorf (THD) Verfahren zur automatisierten Bestimmung geeigneter Fertigungsmethoden auf Basis von CAD-Daten. Die Aufgabe wurde als multinomiales Klassifikationsproblem mit 38 Klassen formuliert, wobei unausgewogene Datenverteilungen eine besondere Herausforderung darstellten. Zur Lösung wurde für jede Fertigungsmethode ein eigenes Modell trainiert, das deren Eignungswahrscheinlichkeit schätzt. Eine mehrstufige Datenpipeline kombinierte Merkmale aus 2D-Zeichnungen und 3D-Modellen und integrierte verschiedene Datenarten, ergänzt durch gezieltes Feature Engineering. Für die Klassifikation wurden unterschiedliche Ansätze, darunter Gradient Boosted Trees und neuronale Netze, entwickelt und anhand von Genauigkeit, Robustheit und Praxistauglichkeit bewertet. Die Modelle wurden an Easy2Parts übergeben und dort eingehend geprüft, wobei sich konsistente und nachvollziehbare Ergebnisse zeigten. Ein ergänzend getesteter 3D-Voxel-Ansatz auf Basis neuronaler Netze lieferte vergleichbare Resultate. Insgesamt wurde eine belastbare Methodik geschaffen, die eine datengetriebene, KI-gestützte Identifikation geeigneter Fertigungsmethoden ermöglicht und als Grundlage für den industriellen Einsatz dient. (siehe auch Abbildung 3, 4, und 5)

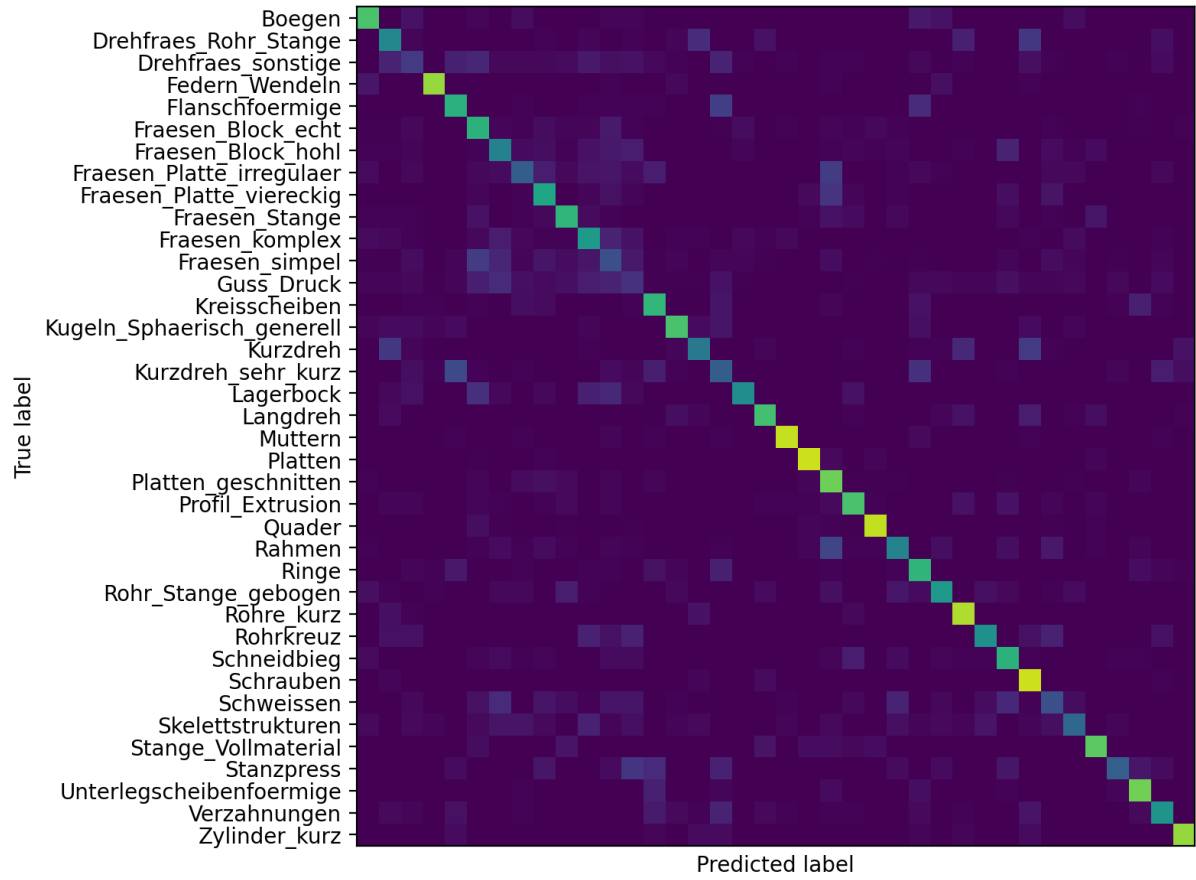


Abbildung 3: Confusion Matrix für die einzelnen Fertigungsmethoden

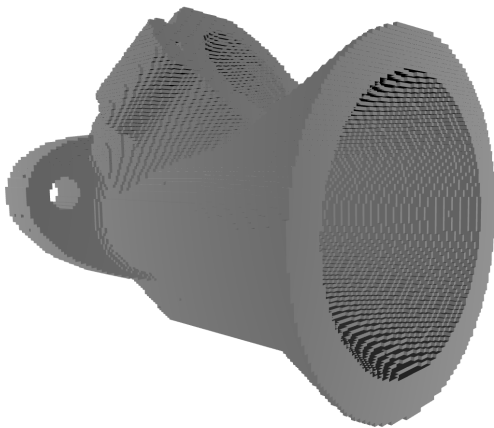


Abbildung 4: 3D Voxel Quantisierung CAD Datei

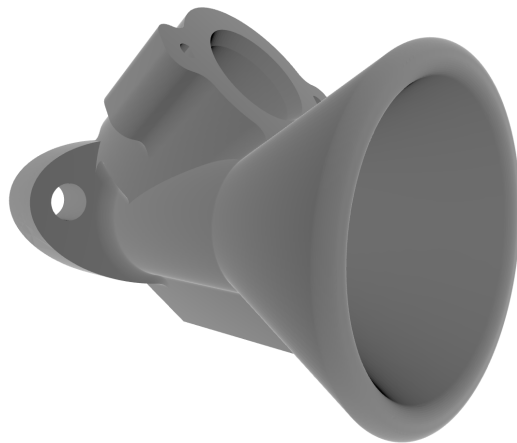


Abbildung 5: Originale Geometrie der CAD Datei

- Bestimmung der kostenoptimalen Fertigungsmethode (AP 3.2):** Im Arbeitspaket 3.2 entwickelte die Technische Hochschule Deggendorf (THD) Modelle zur stückzahlabhängigen Preisschätzung von Fertigungsteilen. Im Unterschied zu AP 3.1 enthielten die Datensätze nun mehrere Preisangaben je Bauteil, wodurch sich das Datenvolumen deutlich erhöhte. Die bisherige Datenverarbeitung wurde daher vollständig neu implementiert mithilfe des Frameworks *polars* im Streaming-Modus, um die stark gewachsene Datenmenge effizient zu verarbeiten. Auf Basis historischer Rohstoffpreise (siehe Abbildung 6) und stückzahlabhängiger Angebotspreise wurden nichtlineare, regularisierte Regressionsmodelle entwickelt, die trotz hoher Varianz in den Daten robuste Preisprognosen ermöglichten. Dabei wurden Merkmale aus 2D- und 3D-Konstruktionsdaten, Rohstoffpreise und geometrische Kennwerte kombiniert und mittels spezieller Transformationen (u. a. Yeoh-Johnson) für eine stabile Modellkonvergenz aufbereitet (siehe Abbildung 7). Die Modelle erreichten eine mittlere Vorhersagegenauigkeit von rund 44 % MAPE und liefern damit eine solide Preisschätzung (siehe Abbildung 8). Die Ergebnisse liefern wertvolle Einblicke in die wesentlichen Kostentreiber von Blechteilen und bilden eine solide Grundlage für zukünftige Anwendungen im Bereich datengetriebener Preisprognosen und Fertigungskostenabschätzungen.

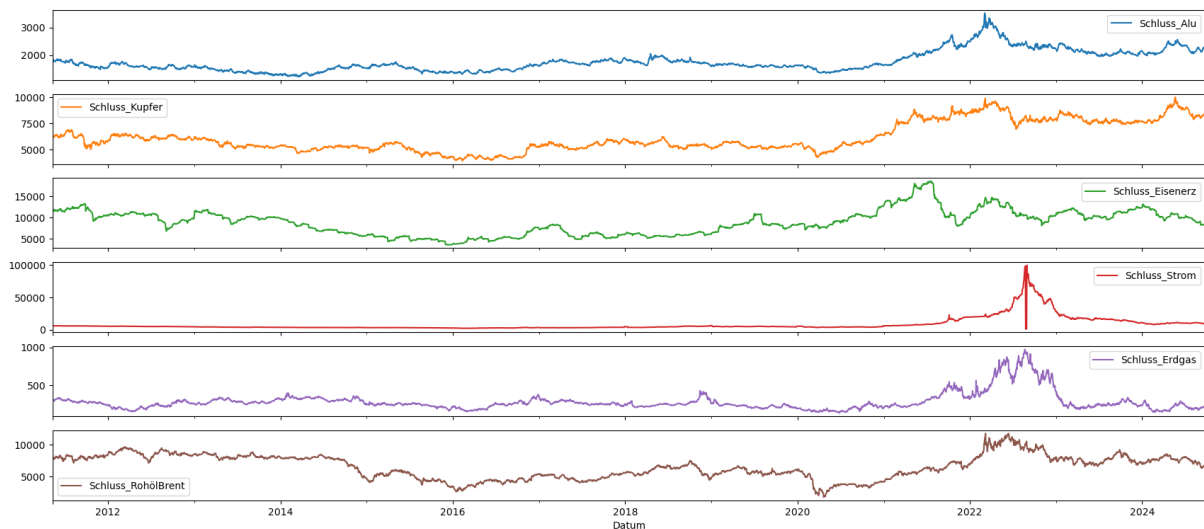


Abbildung 6: Zeitliche Schwankungen der Rohstoffpreise

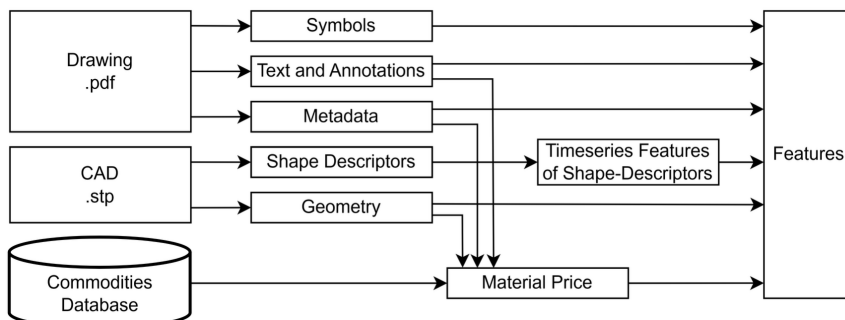


Abbildung 7: Architektur der Merkmale der Preis-Prognose

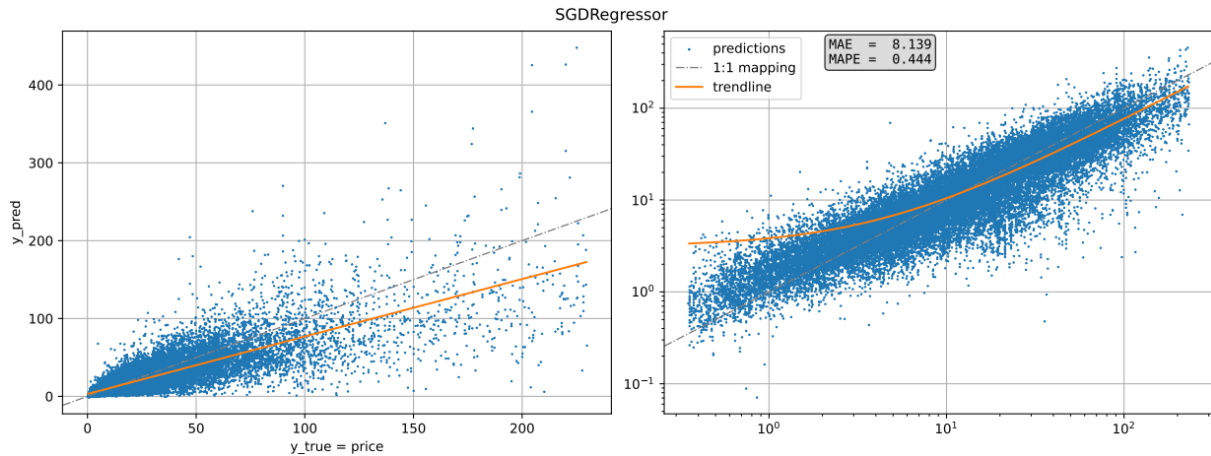


Abbildung 8: Preis-Vorhersage in Linear-Linear und Log-Log Darstellung

- **Zerlegung komplexer Bauteile und Arbeitsplanerstellung (AP 3.3):** Easy2Parts entwickelte eine Methodik zur automatisierten Zerlegung komplexer Bauteile in einzelne Arbeitsschritte, um daraus vollständige Arbeitspläne zu generieren. Das Klassifizieren und die Erstellung von Arbeitsplänen für Blech-, Dreh- und Frästeile konnten erfolgreich umgesetzt werden. Die Modelle erzielten eine Genauigkeit von rund 95 % bei der Hauptfertigung, 91 % bei sieben Klassen (Multilabel) und 82 % bei 16 Klassen. Diese Ergebnisse belegen eine hohe Zuverlässigkeit der entwickelten Verfahren.
- **Baugruppenanalyse (AP 3.4):** Aufbauend auf der Bauteilzerlegung wurde eine Methodik entwickelt, mit der komplette Baugruppen automatisiert verarbeitet und in ihre Einzelkomponenten zerlegt werden können. Dadurch lassen sich auch komplexe Konstruktionen hinsichtlich Fertigungsaufwand und Kostenstruktur bewerten.

**Bewertung und zentrale Erkenntnisse:** Die Arbeiten des Arbeitspakets 3 waren sowohl inhaltlich notwendig als auch methodisch angemessen, um die Projektziele zu erreichen.

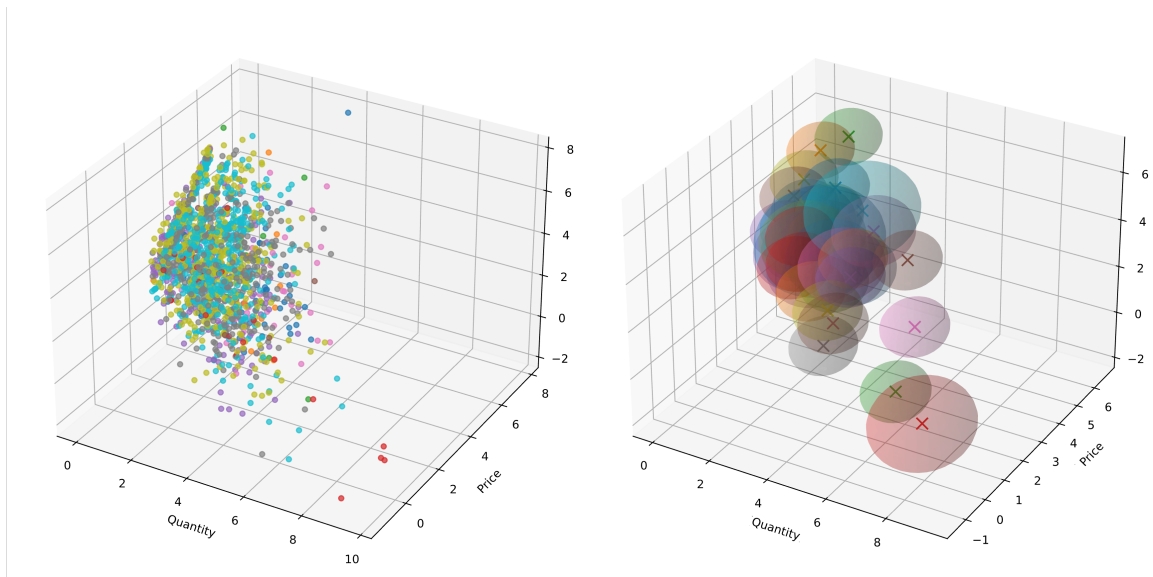
Im Rahmen von AP 3.2 konzentrierte sich die THD auf die stückzahlabhängige Kostenschätzung von Blechteilen. Auch wenn die arbeitsschrittweise Auswahl der kostenoptimalen Fertigungstechnologie nicht vollständig umgesetzt werden konnte, entstand eine belastbare Grundlage für die modellbasierte Preiskalkulation. Die gewonnenen Modelle liefern wertvolle Einblicke in die Preisbildung und dienen als Ausgangspunkt für weiterführende Untersuchungen und Übertragungen auf andere Fertigungsverfahren.

Im Projektverlauf zeigte sich, dass die Definition klarer Übergänge zwischen verschiedenen Fertigungstechnologien im Rahmen der Kalkulation herausfordernd ist.

Verfahren wie Laserschneiden und Stanzen gehen fließend ineinander über und lassen sich anhand der verfügbaren Bauteilmerkmale nur schwer eindeutig abgrenzen.

Trotz dieser Komplexität wurde das übergeordnete Ziel, den passenden Fertigungsbetrieb für ein Bauteil zu identifizieren und marktgerechte Preise zu bestimmen, erfolgreich erreicht. Die Klassifizierung der Lieferanten ermöglichte eine indirekte Zuschreibung ihrer technologischen Möglichkeiten: Lieferanten, die regelmäßig kleinere Stückzahlen bearbeiten, sind typischerweise Verfahren wie dem Laserschneiden zuzuordnen, während Betriebe mit höheren Losgrößen auf werkzeuggestützte Verfahren spezialisiert sind (siehe Abbildung 9). Dieses Verständnis führt zu einer gezielteren und effizienteren Anfragepraxis und stellt einen wesentlichen Projekterfolg dar.

Insgesamt wurde mit AP 3 ein zentraler Meilenstein des Projekts erreicht: Die Verbindung technischer, wirtschaftlicher und datengetriebener Ansätze bildet die Basis für eine KI-gestützte, praxisnahe Fertigungsplanung und die effiziente Zuordnung von Bauteilen zu geeigneten Lieferanten.



*Abbildung 9: Lieferantenverteilung. Geplottet Stückzahl gegen Preis gegen Preisschätzung – Zu sehen sind Stückzahlregionen in denen Lieferanten überwiegend agieren*

#### 4.4 Arbeitspaket 4 – Evaluation und Transfer

**Notwendigkeit:** Das Arbeitspaket 4 diente der Überprüfung und praktischen Validierung der entwickelten Modelle unter realen Einsatzbedingungen. Ziel war es, zu untersuchen, wie zuverlässig die Modelle die Fertigungsmethode auf Basis der in den vorangegangenen Arbeitspaketen gewonnenen Daten identifizieren können. Darüber hinaus sollten Verfahren zur kontinuierlichen Verbesserung der Modelle im laufenden Betrieb (Active

Learning) etabliert werden, um den Praxiseinsatz langfristig zu stabilisieren und zu optimieren.

### **Durchgeführte Arbeiten:**

- **Überwachter Testlauf (AP 4.1):** In der ersten Phase wurden die Modelle unter kontrollierten Bedingungen getestet. Für jedes Bauteil generiert das System einen Vorschlag zur optimalen Fertigungstechnologie. Der Fertigungstechnologe erhält diesen Vorschlag und kann ggf. manuell anpassen. Anpassungen werden gespeichert und können so beim Training der Modelle verwendet werden.
- **Unüberwachter Testlauf (AP 4.2):** Im unüberwachten Testlauf zeigte sich, dass die Modelle stabile und konsistente Ergebnisse liefern. Die Systeme sind in der Lage, Bauteile zu verarbeiten, geeignete Fertigungstechnologien vorzuschlagen und die Fertigungstechnologen im Entscheidungsprozess zu unterstützen.

**Angemessenheit:** Die Evaluation bestätigte, dass die Modelle zuverlässig arbeiten und Fertigungstechnologen bei der Auswahl geeigneter Fertigungsmethoden wirkungsvoll unterstützen können. Die Kombination aus automatisierten Vorschlägen und manueller Kontrolle führt zu einer deutlichen Effizienzsteigerung im Arbeitsprozess, ohne die Qualität der Entscheidungen zu beeinträchtigen.

Darüber hinaus wurde mit der Möglichkeit, Bauteile manuell zu labeln und Ergebnisse zu validieren, eine wichtige Grundlage geschaffen, um die Systemleistung langfristig bewerten und gezielt weiterentwickeln zu können. Damit wurde der Übergang von der Forschung in den industriellen Praxiseinsatz erfolgreich vollzogen.

### **4.5 Arbeitspaket 5 – Dissemination und wissenschaftliche Begleitung**

Easy2Parts übernahm die Projektsteuerung, die Kommunikation zwischen den Partnern sowie die Koordination regelmäßiger Projekttreffen. Zudem führte E2P mehrere Gespräche mit Bestands- und Neukunden, um das Marktinteresse an automatisierten Arbeitsplänen und KI-gestützten Lieferantenempfehlungen zu validieren. Das Feedback bestätigte ein hohes Interesse an der praktischen Anwendung der entwickelten Methoden, insbesondere hinsichtlich transparenter Kostenabschätzungen und effizienter Anfrageprozesse. Diese Gespräche tragen wesentlich zur Vorbereitung des Praxistransfers und zur Verwertung der Ergebnisse im Produkt *PartSpace* bei.

Die Technische Hochschule Deggendorf war für die wissenschaftliche Dissemination verantwortlich. Hierzu wurden die in AP 3 entwickelten Methoden zur Fertigungsmethodenklassifikation und Preisschätzung dokumentiert und für Publikationen aufbereitet. Zum Zeitpunkt des Projektabschlusses befanden sich die wissenschaftlichen Veröffentlichungen noch in Vorbereitung.

## 4.6 Zusammenfassung

Das Projekt wurde insgesamt planmäßig durchgeführt und erfolgreich abgeschlossen. Alle wesentlichen Arbeitspakete wurden umgesetzt und die übergeordneten Ziele – die Identifikation des passenden Fertigungsbetriebs und die Bestimmung marktgerechter Preise – konnten erreicht werden.

Eine zentrale Erkenntnis des Projekts ist, dass die Auswahl der optimalen Fertigungstechnologie und die Wahl des geeigneten Lieferanten eng miteinander verknüpft sind. In der Praxis zeigte sich, dass beide Faktoren nicht unabhängig voneinander betrachtet werden können. Die Wahl eines Lieferanten grenzt die technologischen Möglichkeiten sinnvoll ein, während der Vergleich zwischen Lieferanten Hinweise auf die zugrunde liegende, wirtschaftlichste Fertigungsmethode liefert. So lassen sich beispielsweise Lieferanten, die überwiegend kleinere Stückzahlen bearbeiten, typischerweise Verfahren wie dem Laserschneiden zuordnen, während Betriebe mit höheren Losgrößen häufig auf werkzeuggestützte Verfahren wie Stanzen spezialisiert sind. Durch die Klassifizierung der Lieferanten auf Basis realer Auftragsdaten konnte somit indirekt die kostenoptimale Fertigungstechnologie bestimmt werden – ohne diese explizit im Vorfeld modellieren zu müssen.

Im Projektverlauf zeigte sich, dass die Definition klarer Übergänge zwischen verschiedenen Fertigungstechnologien aufgrund fließender Grenzen zwischen Verfahren herausfordernd war. Trotz dieser Komplexität gelang es jedoch, belastbare Modelle zu entwickeln, die eine stückzahlabhängige Bewertung und Zuordnung ermöglichen.

## 4.7 Workflow und Demonstrator

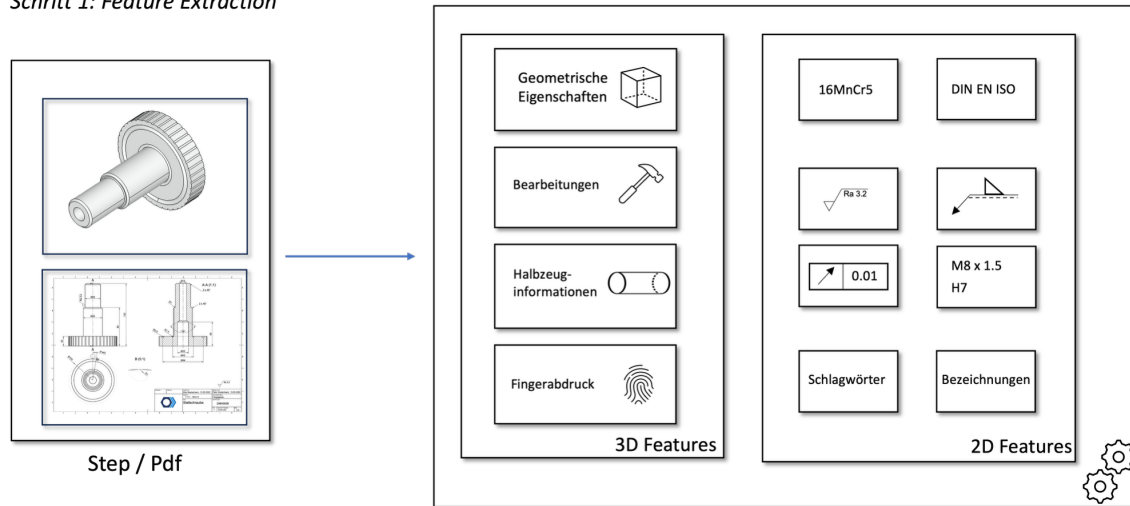
Der im Projekt *AutoOPP 2.0* entwickelte Workflow bildet den gesamten Prozess von der technischen Analyse eines Bauteils bis zur Zuordnung zu einem geeigneten Fertigungsbetrieb ab. Er integriert die Ergebnisse aller vorhergehenden Arbeitspakete zu einem konsistenten Gesamtsystem.

### 1. Feature-Extraktion

Ausgangspunkt des Workflows ist die automatisierte Analyse technischer Zeichnungen und 3D-Modelle. Hierbei werden aus 2D-Zeichnungen und CAD-Dateien geometrische, semantische und werkstoffbezogene Merkmale extrahiert. Dazu zählen u. a. Werkstoffe, Normen, Form- und Lagetoleranzen, Oberflächen, Bohrungen, Gewinde, Fasen und Schweißsymbole.

Die extrahierten Merkmale werden in einer zentralen Datenstruktur abgelegt und dienen als Grundlage für die nachfolgenden Schritte.

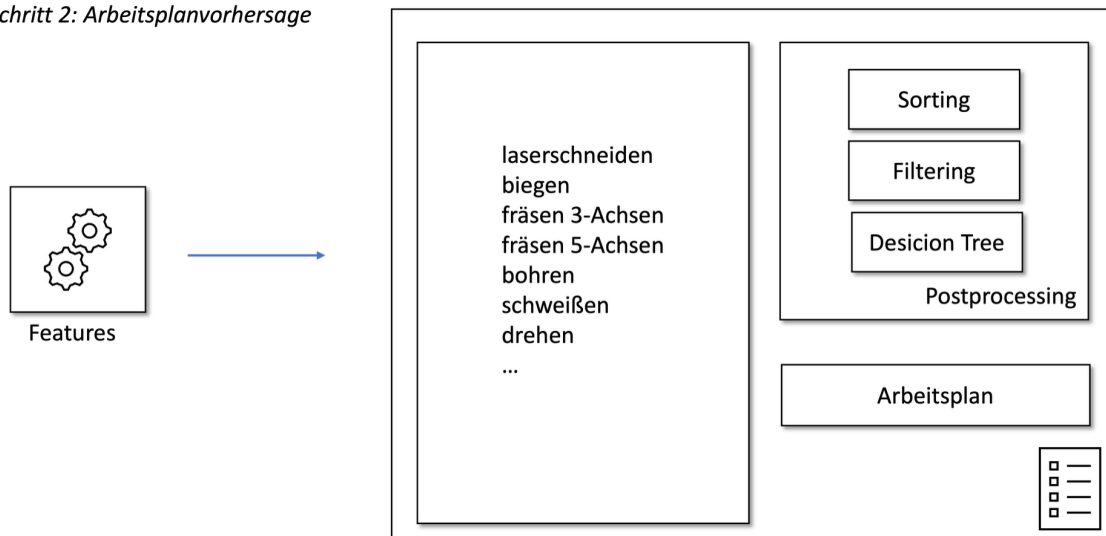
### Schritt 1: Feature Extraction



## 2. Arbeitsplanvorhersage

Im zweiten Schritt erfolgt die automatische Ableitung eines Arbeitsplans. Auf Basis der erkannten Merkmale werden mögliche Fertigungsverfahren identifiziert und zu Arbeitsschritten kombiniert. Das System generiert daraus eine plausible Sequenz von Bearbeitungen, die den voraussichtlichen Fertigungsprozess abbildet. Dabei werden auch geometrische Zusammenhänge (z. B. Rotationssymmetrie, Materialdicke) berücksichtigt.

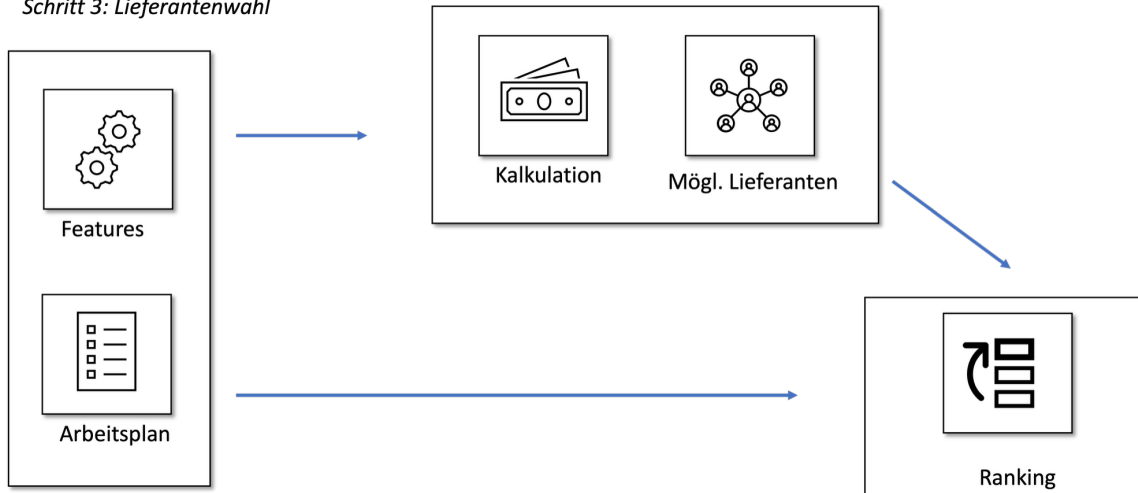
### Schritt 2: Arbeitsplanvorhersage



## 3. Lieferantenwahl

Im dritten Schritt erfolgt die Zuordnung zu geeigneten Fertigungsbetrieben. Hierbei werden sowohl stückzahlabhängige Kostenmodelle als auch historische Preisdaten berücksichtigt. Das System analysiert, welche Lieferanten Bauteile mit vergleichbaren Merkmalen bisher wirtschaftlich gefertigt haben. Auf diese Weise wird eine datengetriebene, marktgerechte Lieferantenauswahl ermöglicht.

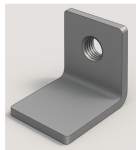
### Schritt 3: Lieferantwahl



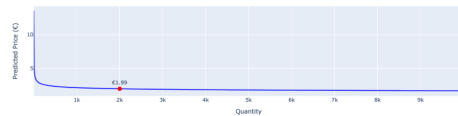
## 4. Demonstrator

Ein entwickelter Demonstrator visualisiert den gesamten Workflow interaktiv. Über eine grafische Benutzeroberfläche können Konstruktionsdaten geladen und Vorschläge für Fertigungsmethoden und Lieferanten dargestellt werden. Zusätzlich lässt sich der stückzahlabhängige Preisverlauf visualisieren.

AutoOPP 2.0



Drag and Drop or Select a File

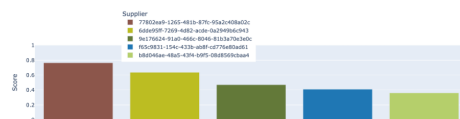


Select Quantity

1000

Category: Blechbauteil

Top Suppliers



Operation Plan



## 5. Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die Ausgaben im Projekt konzentrierten sich bei der Easy2Parts GmbH ausschließlich auf Personalkosten. Im Rahmen der Projektbearbeitung wurden – abhängig von den jeweiligen fachlichen Anforderungen – mehrere Mitarbeiter, mit unterschiedlichem technischen und wissenschaftlichen Hintergrund, in das Projekt eingebunden.

Insgesamt arbeiteten im Verlauf des Projekts zwei bis drei Fachkräfte, an den verschiedenen Arbeitspaketen. Dabei handelte es sich durchweg um erfahrene Experten aus den Bereichen Künstliche Intelligenz, Datenmodellierung und maschinelles Lernen. Je nach Projektfortschritt wurden zusätzlich weitere interne Ressourcen kurzfristig hinzugezogen, um in spezifische Themenfelder zu unterstützen.

Für die THD fielen insgesamt Personalkosten von 146.862,51 Euro Personalkosten (entspricht 99,70 % der Projektkosten). Darüber hinaus fielen 445,30 Euro Reisekosten an. Anschaffungen und Aufträge gab es keine.

## 6. Fortschritt anderer Stellen während des Vorhabens

Während der Laufzeit des Projekts *AutoOPP 2.0* wurden in Wissenschaft und Industrie deutliche Fortschritte im Bereich der automatisierten Fertigungsplanung und des Einsatzes von Künstlicher Intelligenz (KI) in der Produktion erzielt. Verschiedene Forschungsarbeiten und Studien befassten sich mit der Nutzung digitaler Konstruktionsdaten zur automatischen Generierung von Fertigungsprozessen, der Merkmalsextraktion aus CAD-Modellen und der Integration datengetriebener Methoden in bestehende Produktionssysteme.

Eine besonders relevante Entwicklung ist die zunehmende Nutzung von STEP-NC-basierten Verfahren zur automatisierten Prozessplanung. In der Arbeit *“A novel solution of automated process planning techniques for STEP-NC manufacturing”* (Chryssolouris et al., 2025) wird ein Ansatz beschrieben, der geometrische und semantische Informationen aus CAD-Daten verarbeitet, um Fertigungsschritte automatisch zu generieren und Werkzeugwege zu bestimmen (DOI: 10.1007/s00170-025-15511-0) Diese Forschung weist methodische Parallelen auf, da ebenfalls CAD-basierte Daten zur Ermittlung fertigungstechnischer Merkmale genutzt werden. Im Unterschied zu AutoOPP 2.0 liegt der Schwerpunkt dieser Arbeiten jedoch auf der Prozessplanung innerhalb eines einzelnen Fertigungsbetriebs und nicht auf der vorgelagerten Auswahl geeigneter Fertigungstechnologien oder Lieferanten.

Aktuelle Studien aus dem Fraunhofer-Umfeld verdeutlichen zudem, dass sich der Einsatz von KI in der industriellen Praxis bislang überwiegend auf operative Bereiche konzentriert. Die Erhebung *„Künstliche Intelligenz in der Produktion“* des Fraunhofer ISI (2024) zeigt, dass rund 16 % der Industrieunternehmen in Deutschland bereits KI-Systeme in Produktionsprozesse integriert haben – hauptsächlich in der Qualitätssicherung, der Prozessüberwachung und der vorausschauenden Wartung.

Darüber hinaus arbeiten Einrichtungen wie das Fraunhofer IPT oder die Karlsruher Forschungsfabrik für KI-integrierte Produktion an Echtzeitanwendungen für die Prozesssteuerung, Parameteroptimierung und Qualitätskontrolle in laufenden Fertigungsumgebungen (*„KI in der Produktion“* Fraunhofer IPT, 2024; *„KI-integrierte Produktion für Industrie 4.0“* Karlsruher Forschungsfabrik, 2024). Diese Forschungsansätze sind stärker auf die operative Produktion ausgerichtet und

unterscheiden sich deutlich von der Zielstellung von AutoOPP 2.0, das die vorgelagerte Phase der Arbeitsplanung, Preisermittlung und Fertigungsbetriebszuordnung adressiert.

Eine weitere Entwicklung ist die zunehmende Beforschung von 3D-Bildbasierten KI-Methoden zum Erkennen von Fertigungstechnologien („*Learning the manufacturing capabilities of machining and finishing processes using a deep neural network model*“, ZHAO, Changxuan; MELKOTE, Shreyes N. 2024). Dazu werden die CAD-Dateien der Bauteile diskretisiert als Voxel und über 3D Convolutional Neural Network verarbeitet. Dieser Ansatz wurde in AP 3.1 zusätzlich integriert und mit dem ursprünglichen Ansatz verglichen.

Insgesamt zeigt sich, dass während der Projektlaufzeit zwar eine Vielzahl an Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten zur Nutzung von KI in der Fertigung stattgefunden hat, jedoch kein vergleichbarer Ansatz existiert, der die Kombination aus 2D-/3D-Datenanalyse, stückzahlabhängiger Kostenmodellierung und automatisierter Zuordnung zu geeigneten Fertigungsbetrieben verfolgt. AutoOPP 2.0 positioniert sich damit eindeutig in einem eigenständigen Forschungsfeld zwischen digitaler Arbeitsvorbereitung und datengetriebener Lieferantenauswahl und leistet einen originären Beitrag zur Weiterentwicklung der industriellen KI-Anwendungen im Kontext der Fertigungsplanung.

## 7. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses

Die im Projekt AutoOPP 2.0 entwickelten Methoden und Werkzeuge bieten sowohl für die industrielle Praxis als auch für Forschung und Lehre ein hohes Verwertungspotenzial. Durch die Verknüpfung von 2D- und 3D-Konstruktionsdaten mit KI-gestützten Klassifikations- und Preismodellen wird eine bislang manuelle und erfahrungsbasierte Tätigkeit – die Auswahl geeigneter Fertigungstechnologien und Lieferanten – systematisch und datenbasiert unterstützt. Damit leistet das Projekt einen wesentlichen Beitrag zur Digitalisierung und Automatisierung der Arbeitsvorbereitung im industriellen Umfeld.

### a) Erfindungen, Schutzrechtsanmeldungen und Schutzrechte

Im Verlauf des Projekts wurden keine eigenständigen Schutzrechte oder Patentanmeldungen vorgenommen. Die entwickelten Methoden und Algorithmen fließen unmittelbar in bestehende und weiterentwickelte Produktlösungen der Projektpartner ein. Die Verwertung erfolgt unternehmensintern über die Integration in das KI-Produkt *PartSpace* der Easy2Parts GmbH sowie über wissenschaftliche Veröffentlichungen und Lehrinhalte an der Technischen Hochschule Deggendorf.

### b) Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

**Easy2Parts GmbH (E2P):** Die wirtschaftlichen Perspektiven des Projekts sind ausgesprochen positiv. Mit den entwickelten Methoden kann der Prozess der Lieferantenauswahl und Preisermittlung für Fertigungsteile deutlich effizienter gestaltet werden. Durch die automatisierte Zuordnung von Bauteilen zu Fertigungsbetrieben auf

Basis von Konstruktionsdaten und Stückzahlen entfällt die manuelle Recherche nach geeigneten Lieferanten weitgehend. Lieferanten erhalten nur noch Anfragen, die zu ihren Fertigungskapazitäten und Spezialisierungen passen. Dadurch sinkt der Anteil unnötiger Angebotskalkulationen erheblich. Auf Seiten der Einkäufer werden gleichzeitig Bearbeitungszeiten reduziert und Entscheidungsprozesse beschleunigt. Die Möglichkeit, stückzahlabhängig den jeweils optimalen Lieferanten zu identifizieren, führt zu marktgerechten Preisen und zu einer effizienteren Auftragsvergabe.

Darüber hinaus ergeben sich strategische Vorteile: Durch die datengetriebene Zuordnung von Aufträgen können Lieferanten Spezialisierungen ausbauen und Skaleneffekte nutzen, während Einkäufer von höherer Transparenz und Planungssicherheit profitieren. Langfristig trägt dies zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit kleiner und mittlerer Fertigungsbetriebe bei. Die Projektergebnisse werden in das bestehende KI-Produkt *PartSpace* integriert und stehen den Kunden von Easy2Parts künftig als Bestandteil des digitalen Beschaffungsprozesses zur Verfügung.

**Technische Hochschule Deggendorf (THD):** Die THD strebt keine wirtschaftliche Verwertung der Projektergebnisse an. Die Erkenntnisse werden in wissenschaftliche Publikationen und die akademische Lehre überführt.

### **c) Wissenschaftliche und technische Erfolgsaussichten nach Projektende**

**Easy2Parts GmbH (E2P):** Technisch eröffnen die Projektergebnisse vielfältige Anschlussmöglichkeiten. Die im Projekt entwickelten Klassifikations- und Regressionsmodelle können in bestehende ERP-Systeme, digitale Beschaffungsplattformen und Produktionsnetzwerke integriert werden. Denkbar ist zudem die Bereitstellung der Funktionalitäten über standardisierte Programmierschnittstellen (APIs), um eine Anbindung an externe Systeme zu ermöglichen. Darüber hinaus lassen sich die Modelle für Benchmarking-Zwecke oder zur Optimierung öffentlicher Beschaffungsprozesse nutzen, insbesondere in Bereichen, in denen eine transparente, automatisierte Vergabe erforderlich ist. Mittelfristig ist eine Erweiterung der bestehenden Systeme um eine automatisierte Auftragsprüfung und -erstellung vorgesehen. Diese Weiterentwicklung eröffnet Potenziale für neue Kooperationen mit Forschungseinrichtungen, Verbänden und Unternehmen aus den Bereichen Fertigungstechnologien, Künstliche Intelligenz und digitaler Einkauf.

**Technische Hochschule Deggendorf (THD):** Die im Projekt erarbeiteten Methoden zur Preisschätzung von Blechteilen und zur Klassifikation von Fertigungsmethoden auf Basis geometrischer und semantischer Merkmale bieten ein hohes wissenschaftliches Anschluss- und Publikationspotenzial. Eine wissenschaftliche Veröffentlichung zur Methodik der Preisschätzung befindet sich in Vorbereitung und soll nach Projektende erscheinen. Eine weitere Publikation zur automatisierten Klassifikation von Fertigungsmethoden auf Basis von CAD-Merkmalen ist ebenfalls geplant. Die Projektergebnisse fließen darüber hinaus in die Lehre der Fakultät Angewandte Informatik ein. In den Studiengängen *Künstliche Intelligenz* (B.Sc.) und *Wirtschaftsinformatik* (M.Sc.) werden die entwickelten Methoden

als aktuelle Fallbeispiele eingesetzt, um Studierenden praxisnahe Einblicke in die industrielle Anwendung von KI in der Fertigungsplanung zu vermitteln.

#### **d) Gesamtbewertung**

Das Projekt AutoOPP 2.0 leistet einen messbaren Beitrag zur Digitalisierung industrieller Beschaffungs- und Fertigungsprozesse. Die Verbindung von Konstruktionsdatenanalyse, KI-basierter Entscheidungsunterstützung und marktorientierter Lieferantenauswahl stellt ein neuartiges Konzept dar, das sowohl ökonomisch als auch wissenschaftlich anschlussfähig ist. Die direkte Integration der Ergebnisse in das KI-Produkt *PartSpace* sichert die nachhaltige wirtschaftliche Nutzung und stärkt gleichzeitig den Wissenstransfer zwischen Industrie und Wissenschaft. Damit trägt das Projekt langfristig zur Effizienzsteigerung, Transparenz und Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Fertigungsbranche bei.

### **8. Erfolge und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse**

Das Projekt erzielte wesentliche Fortschritte bei der KI-gestützten Automatisierung der Arbeitsplanung und Fertigungszuordnung. Die entwickelte Methodik zur Analyse von 2D- und 3D-Konstruktionsdaten, zur Klassifikation geeigneter Fertigungstechnologien und zur stückzahlabhängigen Preisschätzung wurde erfolgreich erprobt.

Bei der Technischen Hochschule Deggendorf befinden sich zwei wissenschaftliche Veröffentlichungen in Vorbereitung:

- eine zur datenbasierten Preisschätzung von Blechteilen,
- eine zur Klassifikation von Fertigungsmethoden anhand geometrischer und semantischer Merkmale.

Die Projektergebnisse fließen zudem in die Lehre der Fakultät Angewandte Informatik ein. Insgesamt leistet AutoOPP 2.0 einen substanziellen Beitrag zur datengetriebenen Automatisierung industrieller Beschaffungs- und Fertigungsprozesse.

### **9. Fazit**

Mit AutoOPP 2.0 wurde gezeigt, dass Künstliche Intelligenz in der Lage ist, aus Konstruktionsdaten und Stückzahlinformationen belastbare Aussagen über geeignete Fertigungstechnologien und Lieferanten zu treffen. Die Verbindung von technischer Datenanalyse, wirtschaftlicher Bewertung und Marktzuordnung stellt einen innovativen Ansatz dar, der sowohl die Effizienz als auch die Transparenz industrieller Beschaffungsprozesse verbessert.

Das Projektziel – die Entwicklung einer Methodik zur automatisierten Erstellung von Arbeitsplänen und zur marktgerechten Lieferantenauswahl – wurde erreicht. Die

Integration der Ergebnisse in das KI-Produkt *PartSpace* sichert die nachhaltige wirtschaftliche Verwertung und schafft die Grundlage für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Bereich der KI-basierten Fertigungsplanung.