

# Sachbericht zum Verwendungsnachweis

## Verbundprojekt

### Industrielles Reinforcement Learning zur Qualitätsregelung von Massivumformprozessen (FKZ: 02P20A071)

#### IRLeQuM

in der Fördermaßnahme

„Lernende Produktionstechnik — Einsatz künstlicher Intelligenz (KI)“  
im Programm „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von  
morgen“  
des BMBF

#### Autor(en)

Eichsfelder Schraubenwerk GmbH, Dr. Stefan Hoppe,  
[stefan.hoppe@esw-group.eu](mailto:stefan.hoppe@esw-group.eu), Rengelröder Weg 13,  
37308 Heilbad Heiligenstadt]

**Projektlaufzeit:** 01.06.2021 – 31.10.2024

**Erstellungsdatum:** 17.03.2025

#### Projektpartner

Mubea Tailor Rolled Blanks GmbH (*Mubea*)

Eichsfelder Schraubenwerk GmbH (*ESW*)

Schomäcker Federnwerk GmbH (*Schomäcker*)

IconPro GmbH (*IconPro*)

Quality Automation GmbH (*Quality Automation*)

RWTH Aachen:

Lehrstuhl für Fertigungsmesstechnik und Qualitätsmanagement (*WZL-MQ*) und

Lehrstuhl für Technologie der Fertigungsverfahren (*WZL-TF*) des  
Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen

*Assoziierte Partner:*

MAWI GmbH (*MAWI*)

Schuler Pressen GmbH (*Schuler*)

**Mubea**



„Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm „Zukunft der Wertschöpfung – Forschung zu Produktion, Dienstleistung und Arbeit“ (Förderkennzeichen 02P20A071) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.“

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

## Inhaltsverzeichnis

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

## I. Teil I    **Kurzfassung**

### I.1    **Aufgabenstellung**

Das Ziel des Forschungsvorhabens IRLeQuM ist seitens der Eichsfelder Schraubwerk GmbH die Entwicklung eines neuartigen Verfahrens zur Steigerung der Prozess- und Produktqualität sowie der Reduktion des Ausschusses im Bereich der Massivumformung. Hierfür soll mit den Projektpartnern ein Regler entwickelt werden, der auf einem RL-Ansatz basiert und in einem geschlossenen Qualitätsregelkreis (QRK) beim Vertikalpressen von sicherheitsrelevanten Automobilbauteilen aus Stahl verwendet werden kann. Hierzu sollen relevante und in der Serienproduktion sicher erfassbare Einflussgrößen ermittelt werden, auf deren Basis der Regler die optimalen Prozessparameter ermittelt und eine automatische Regelung des Massivumformprozesses durchführt. Um die Anlernzeit des RL-Reglers am realen Prozess zu minimieren und um den Einfluss von nicht messbaren Größen zu untersuchen, wird vorgelagert ein stochastisches Metamodel basierend auf Prozesssimulationen erstellt und der RL-Regler mit diesem über einen Transfer Learning Ansatz vortrainiert.

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

#### *Stand der Wissenschaft und Technik zu Beginn des Vorhabens*

Die Beherrschung von Massivumformprozessen stellt bis heute eine Herausforderung aufgrund hoher Prozessbelastungen und komplexer Bauteilgeometrien dar [1, 2]. Durch die Nutzung von QRK können gewonnene Informationen über Qualitätsmerkmale verarbeitet und Handlungen oder Handlungsempfehlungen zurück in den Prozess gespielt werden [3]. Eine Möglichkeit einen ganzheitlichen QRK zu entwickeln, ist die Integration von Künstlicher Intelligenz (KI) in den Produktionsprozess.

Reinforcement Learning ist ein Teilgebiet des Machine Learning (ML) und passt einen Agenten (Aktor) im QRK an den Prozess an. Das Ziel des Agenten ist das Erlernen des Zusammenhangs zwischen Zuständen, Aktionen und Nutzen (Bewertung), um darauf basierend die Kosten durch Anpassung der Stellgrößen zu minimieren. [5].

Beim *Transfer Learning* wird bestehendes (Domänen-)Wissen auf eine neue Aufgabe übertragen. Das Ziel von TL ist die Reduktion der Anlernzeit und -daten für den Algorithmus. Umgesetzt wurden die Ansätze bisher bei Strategiespielen [8] und Robotersteuerungen [6].

#### *Grobablauf der Vorhabensdurchführung*

Das Vorhaben wurde in neun Arbeitspakete bearbeitet. Im Anschluss an die Anforderungsaufnahme seitens der Anwendungsunternehmen zu Beginn des Projektes wurden die IT-Infrastruktur und Schnittstellen definiert, das stochastische Metamodel aufgebaut, Transfer Learning Algorithmen sowie Reinforcement Learning identifiziert und implementiert. Die Einzelkomponenten wurden in einen übergeordneten Regler integriert und anhand der Prozesse der

Anwendungsunternehmen validiert. Projektübergreifend wurden die Teilergebnisse dokumentiert und der Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Im Projektverlauf wurde festgestellt, dass das Reglertraining durch historische Daten zielführender ist und zusätzliche Kontrollinstanz durch Prozessexperten sinnvoll ist. Beide Aspekte wurden im Rahmen einer Vorhabensbeschreibungsänderung in den Projektfokus mit aufgenommen.

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

Bei der Eichsfelder Schraubenwerk GmbH wurde ein Massivumformprozess auf einer vertikalen Presse mit Hubbalkentransfer simulativ und experimentell untersucht. Hierzu wurde ein vorhandenes Werkzeug so modifiziert, dass bei den Projektpartnern in Aachen und im Werk in Heilbad Heiligenstadt Versuche durchgeführt werden konnten. In diesen Versuchen wurde die Verkippung sowie Prozesskräfte erfasst und zum Aufbau des Reglers herangezogen. Zudem wurden als Kontrollgrößen noch die Temperaturen und Körperschallsignale aufgezeichnet.

Das relevanteste Ergebnis für ESW war, dass die experimentellen Versuche eine Korrelation der Stößelverstellung mit den geometrischen Zielgrößen am Bauteil und den Kraftmessungen im Umformwerkzeug ergaben. Somit wird eine direkte Regelung der Bauteilgeometrie durch die Kraftmessung und anschließender Stößelverstellung möglich.

Leider konnte die Regelung nicht umgesetzt werden, da es nicht gelang die Maschinensteuerung und die unabhängige Werkzeugkraftmessung derart zu koppeln, dass der Regelkreis geschlossen werden kann. Das lag neben der Datenübertragung an unbeantworteten Fragen zur Verantwortung und Kostenübernahme bei einer Kollision. Das Thema wird mit den beteiligten Firmen außerhalb des Forschungsprojektes weiterverfolgt.

Ein weiteres relevantes Ergebnis für ESW war, dass Simulationsdaten zum Transfer Learning der RL-Regelung genutzt werden können. Hierzu wurde von ESW der Prozess in 3D simuliert, wobei die Simulationszeit 6 Stunden betrug. Auf Basis dieses Modells erfolgten am WZL/MTI 600 2D FEM Simulationen, die jeweils ca. 3 Minuten dauerten. Bei diesen 2D Simulationen wurden die definierten Stellgrößen Hub, Eingangsgeometrie und Maschinensteifigkeit variiert und die Zielgrößen Flanschdicke und -radius ermittelt. Erstmals wurde damit die unbekannte Größe der Steifigkeit (Maschine und Werkzeug) systematisch untersucht.

Für die Auswahl geeigneter Simulationspunkte wurde dabei die Bayes'sche Optimierung angewendet. Auf Basis dieser Informationen erstellte das WZL Gauß-Prozess-Regressionsmodelle, welche eine sehr gute Vorhersage ermöglichen und sehr schnell sind. Auf Basis der gleichen Daten wurde seitens IconPro ein Modell trainiert, das ebenfalls eine gute Vorhersage ermöglicht. Das IconPro Modell hat gegenüber dem WZL/MTI Modell den Nachteil, dass das Modell nicht als Formel vorliegt. Dafür können beim IconPro Modell komfortabel Zielgeometrien angegeben werden, das Modell errechnet dann die optimalen Einstellgrößen.

## II. Teil II Eingehende Darstellung

### II.1 Motivation und Aufgabenstellung

Das Ziel des Forschungsvorhabens IRLeQuM ist die Entwicklung eines neuartigen Verfahrens zur Steigerung der Prozess- und Produktqualität sowie der Reduktion des Ausschusses im Bereich der Massivumformung. Hierfür wird ein Regler entwickelt, der auf einem RL-Ansatz basiert und in einem geschlossenen Qualitätsregelkreis (QRK) verwendet werden kann. Dem Reinforcement Learning (RL) Regler werden hierfür die geforderten Qualitätsmerkmale sowie Prozessdaten (u.a. Qualitätsmerkmalsausprägungen, Prozessparameter) übergeben, auf deren Basis er die optimalen Prozessparameter ermittelt und eine automatische Regelung des Massivumformprozesses durchführt. Um die Anlernzeit des RL-Reglers am realen Prozess zu minimieren, wird vorgelagert ein stochastisches Metamodel basierend auf historischen Daten und/oder, (Teil-)Prozesssimulation erstellt und der RL-Regler mit diesem über einen Transfer Learning Ansatz vortrainiert.

Im Gegensatz zu anderen Fertigungsprozessen wie Zerspanung oder Schweißen kann der Prozess bei der Massivumformung nach aktuellem Stand der Technik nicht geregelt werden. Das liegt zum einen daran, dass die Einstellgrößen der Anlagen nur in eine Richtung (Stößelhub) variiert werden können. Zum anderen haben die Geometrie und die Einstellung der Werkzeuge und die Steifigkeit des Systems Presse/Werkzeug den größten Einfluss auf die Produktqualität. ESW wollte in diesem Projekt ermitteln, ob durch das Anlernen eines Reglers mit Simulationsergebnissen eine adaptive Prozessregelung möglich ist.

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

#### *Stand der Wissenschaft und Technik zu Beginn des Vorhabens*

Die Beherrschung von Massivumformprozessen stellt bis heute eine Herausforderung aufgrund hoher Prozessbelastungen und komplexer Bauteilgeometrien dar [1, 2]. Durch die Nutzung von QRK können gewonnene Informationen über Qualitätsmerkmale verarbeitet und Handlungen oder Handlungsempfehlungen zurück in den Prozess gespielt werden [3]. Eine Möglichkeit einen ganzheitlichen QRK zu entwickeln, ist die Integration von Künstlicher Intelligenz (KI) in den Produktionsprozess.

Reinforcement Learning ist ein Teilgebiet des Machine Learning (ML) und passt einen Agenten (Aktor) im QRK an den Prozess an. Das Ziel des Agenten ist das Erlernen des Zusammenhangs zwischen Zuständen, Aktionen und Nutzen (Bewertung), um darauf basierend die Kosten durch Anpassung der Stellgrößen zu minimieren. [5].

Beim *Transfer Learning* wird bestehendes (Domänen-)Wissen auf eine neue Aufgabe übertragen. Das Ziel von TL ist die Reduktion der Anlernzeit und -daten für den Algorithmus. Umgesetzt wurden die Ansätze bisher bei Strategiespielen [8] und Robotersteuerungen [6].

Bei ESW waren zu Beginn des Vorhabens weder eine Regelung noch eine Systematik zur Nutzung von Simulationsergebnissen zur Regelung vorhanden. Es wurden lediglich die Daten erfasst, die die Herstellung der Bauteile mit neuen und idealisierten Werkzeugen und Pressensteifigkeiten ermöglichen. Alle weiteren Anpassungen werden von den Einrichtern auf Erfahrungsbasis per Trial and Error durchgeführt.

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

Das Vorhaben wurde in neun Arbeitspakete bearbeitet. Im Anschluss an die Anforderungsaufnahme seitens der Anwendungsunternehmen zu Beginn des Projektes wurden die IT-Infrastruktur und Schnittstellen definiert, das stochastische Metamodell aufgebaut, Transfer Learning Algorithmen sowie Reinforcement Learning identifiziert und implementiert. Die Einzelkomponenten wurden in einen übergeordneten Regler integriert und anhand der Prozesse der Anwendungsunternehmen validiert. Projektübergreifend wurden die Teilergebnisse dokumentiert und der Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Im Projektverlauf wurde festgestellt, dass das Reglertraining durch historische Daten zielführender ist und zusätzliche Kontrollinstanz durch Prozessexperten sinnvoll ist. Beide Aspekte wurden im Rahmen einer Vorhabensbeschreibungsänderung in den Projektfokus mit aufgenommen.

ESW hat im Rahmen des Projektes Werkzeuge und Material zur Verfügung gestellt und mit der gleichen Messtechnik Versuche beim Projektpartner MTI in Aachen und auf der Serienpresse bei ESW durchgeführt. Zur Bewertung kamen sowohl vorhandene Sensoren von ESW als auch neue Messtechniken vom MTI zum Einsatz. Die Ergebnisse wurden für die Erstellung des Reglers und zur Verifikation der Simulationen genutzt. Zudem hat ESW die Simulation der Umformung durchgeführt und diese Daten dem MTI für die Modellerstellung zur Verfügung gestellt. Auf Basis der Daten des MTI wurden dann die Modelle vom WZL und von IconPro trainiert.

Durch die Nutzung von Simulationsdaten für die Erstellung der Regelung und die fehlende Verfügbarkeit der Server durch den IT-Angriff auf die Eichsfelder Schraubenwerk GmbH sind deutlich geringere Personalkosten angefallen als ursprünglich beantragt, da zu Projektbeginn deutlich mehr experimentelle Untersuchungen angedacht waren.

### **II.4 Erzielte Ergebnisse**

#### *Regelung auf Basis von experimentellen Untersuchungen*

Bei der Eichsfelder Schraubenwerk GmbH wurde ein Massivumformprozess auf einer vertikalen Presse mit Hubbalkentransfer simulativ und experimentell untersucht. Hierzu wurde ein vorhandenes Werkzeug so modifiziert, dass bei den Projektpartnern in Aachen und im Werk in Heilbad Heiligenstadt Versuche durchgeführt werden konnten. In diesen Versuchen wurde die Verkippung sowie Prozesskräfte erfasst und zum Aufbau des Reglers herangezogen. Zudem wurden als Kontrollgrößen noch die Temperaturen und Körperschallsignale aufgezeichnet, Abbildung 1.

Sensoren (WZL) zur Detektion der Maschinenverkippung

Thermoelement zur Messung der Werkzeugtemperatur (WZL)

Körperschallsensor (WZL)



Piezo Werkzeugkraftsensor (ESW)

DMS Kraftmessung im Ständer der Maschine (MAWI)

Abbildung 1: Versuchsaufbau bei der Eichsfelder Schraubenwerk GmbH (Quelle ESW)

Die experimentellen Versuche ergaben eine Korrelation der Stößelverstellung mit den geometrischen Zielgrößen am Bauteil und den Kraftmessungen im Umformwerkzeug, s. Abbildung 2. Somit erscheint eine direkte Regelung der Bauteilgeometrie durch die Kraftmessung und anschließender Stößelverstellung möglich. Hierzu wurde die vorhandene mit einem OPC-UA Server nachgerüstet. Der Projektpartner QA hat dann das in Abbildung 3 mit dem Pfeil dargestellte Framework zur Datenaggregation im Unternehmen umgesetzt.

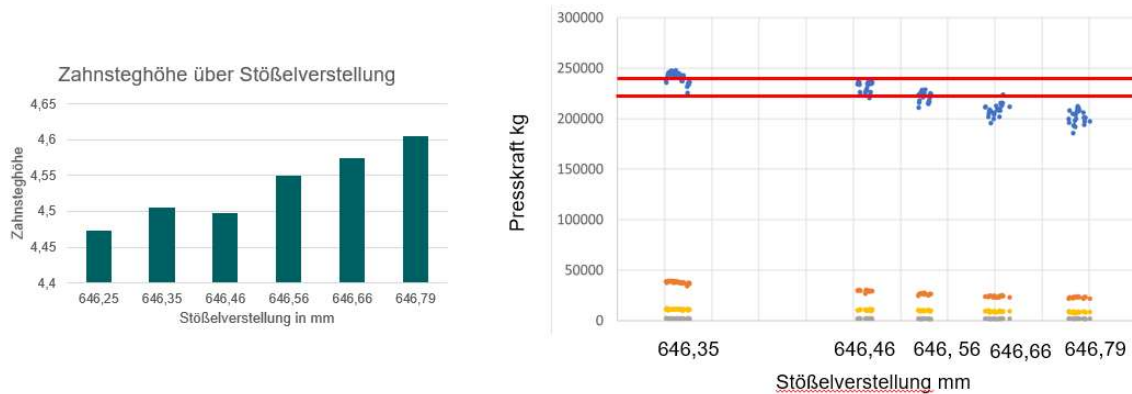


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen geometrischer Größe „Zahnsteghöhe“ und der Presskraft über die Stößelverstellung (Quelle: ESW)

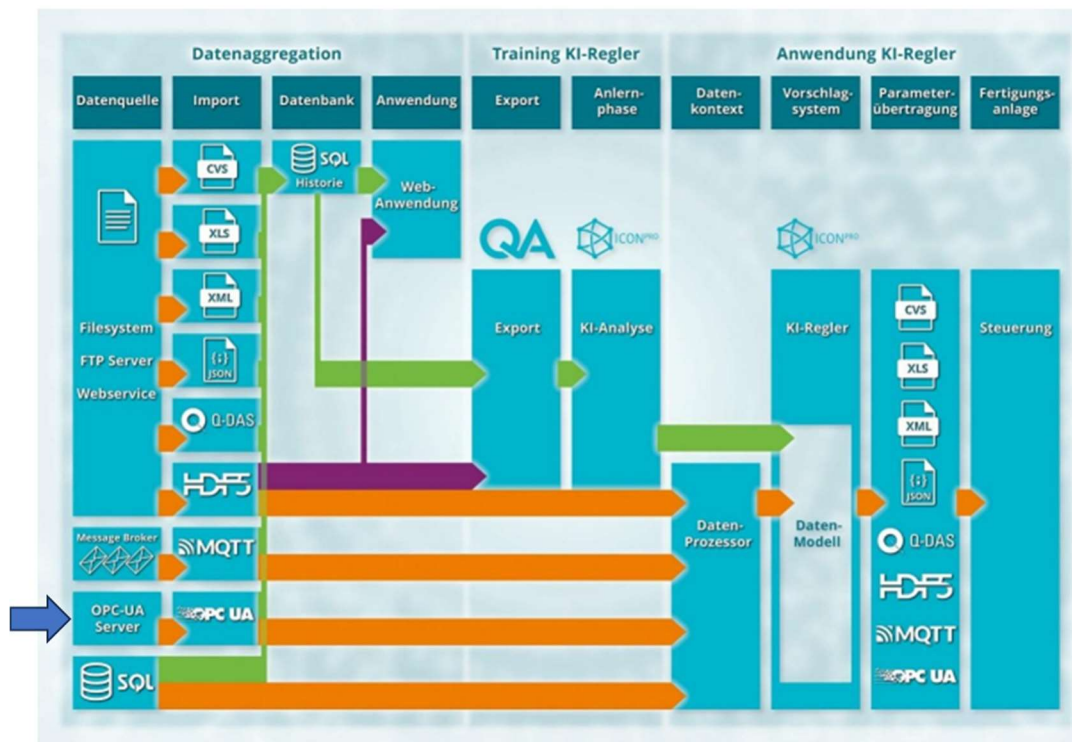


Abbildung 3: Ausgewählte Strategie aus dem Framework zur Datenaggregation von QA (Quelle: QA)

In Abbildung 4 sind die Signale des OPC-UA Servers der Anlage dargestellt. Es werden die Position des Stößels, die eingestellte Stößelverstellung sowie die Kräfte aus der Kraftmessung im Presskörper übergeben. Letztere sind zu grob für die Prozessregelung, aber ein wichtiger Indikator für die Prozessdokumentation. Die Daten der Piezo-Werkzeugkraftsensoren von ESW könnten zur Regelung herangezogen werden, wenn eine OPC-UA Schnittstelle vorhanden wäre. Leider konnte diese nicht im Projektzeitraum zur Verfügung gestellt werden. Das lag einerseits daran, dass der Lieferant der Prozesskraftüberwachung von einem anderen Unternehmen aufgekauft wurde. Zum anderen führte ein IT-Angriff auf ESW im November 2023 dazu, dass alle Server verschlüsselt und neu aufgesetzt werden mussten. Dazu gehörte auch der OPC-UA Server, der erst Mitte 2024 wieder zur Verfügung stand.

### OPC UA aus der SPS

#	Server	Node Id	Display Name	Value	Datatype	urce Timestar	rver Timestan	Statu
1	13987 OPC	NS2 String ...	13987_KT650 OPC_ActualMotorPower	0	Float	00:35:00.283	00:35:00.300	Good
2	13987 OPC	NS2 String ...	13987_KT650 OPC_MachinelD_ConstructionYear	2016	String	00:35:00.283	00:35:00.300	Good
3	13987 OPC	NS2 String ...	13987_KT650 OPC_MachinelD_MachineNo	13987	String	00:35:00.283	00:35:00.300	Good
4	13987 OPC	NS2 String ...	13987_KT650 OPC_MachinelD_MachineType	KT650	String	00:35:00.283	00:35:00.300	Good
5	13987 OPC	NS2 String ...	13987_KT650 OPC_MachinelD_Manufacturer	Mawi GmbH	String	00:35:00.283	00:35:00.300	Good
6	13987 OPC	NS2 String ...	13987_KT650 OPC_MachinelD_OrderNo	17363	String	00:35:00.283	00:35:00.300	Good
7	13987 OPC	NS2 String ...	13987_KT650 OPC_PressAngle	90	Int16	00:42:31.465	00:42:31.500	Good
8	13987 OPC	NS2 String ...	13987_KT650 OPC_Pressforce_PressforceLeft	198	Int16	00:42:29.088	00:42:29.100	Good
9	13987 OPC	NS2 String ...	13987_KT650 OPC_Pressforce_PressforceRight	229	Int16	00:42:29.088	00:42:29.100	Good
10	13987 OPC	NS2 String ...	13987_KT650 OPC_Pressforce_PressforceSum	0	Int16	00:42:31.465	00:42:31.500	Good
11	13987 OPC	NS2 String ...	13987_KT650 OPC_RamHeight	42.217	Float	00:42:31.465	00:42:31.500	Good
12	13987 OPC	NS2 String ...	13987_KT650 OPC_RamHightAdjustment	130684	Int32	00:35:00.283	00:35:00.300	Good

### Ein Windows Service importiert die Daten bei Winkeländerung (Bewegung der Presse) in die Datenbank

element	channel	time_stamp	x	x_physical_unit	y	y_physical_unit
1	MAWI Presse	2023-02-21 11:19:51.8633333	358	+	168	t
2	MAWI Presse	2023-02-21 13:33:28.1833333	0	+	166	t
3	MAWI Presse	2023-02-21 13:34:03.0200000	0	+	166	t
4	MAWI Presse	2023-02-21 11:19:51.8633333	358	+	127	t
5	MAWI Presse	2023-02-21 13:33:28.1833333	0	+	126	t
6	MAWI Presse	2023-02-21 13:34:03.0200000	0	+	126	t
7	MAWI Presse	2023-02-21 11:19:51.8633333	358	+	294	t
8	MAWI Presse	2023-02-21 13:33:28.1833333	0	+	290	t
9	MAWI Presse	2023-02-21 13:34:03.0200000	0	+	290	t
10	MAWI Presse	2023-02-21 11:19:51.8633333	358	+	182.8562	
11	MAWI Presse	2023-02-21 13:33:28.1833333	0	+	182.9555	
12	MAWI Presse	2023-02-21 13:34:03.0200000	0	+	182.9555	

Abbildung 4: Daten des OPC-UA Servers aus der KT800 Presse bei ESW (Quelle: QA)

Das Thema wird mit den beteiligten Firmen außerhalb des Forschungsprojektes weiterverfolgt.

### Regelung auf Basis von Simulationsergebnissen

Für den Anwendungsfall bei ESW wurde untersucht, inwieweit Simulationsdaten zum Transfer Learning der RL-Regelung genutzt werden können. Hierzu wurde von ESW der Prozess in 3D simuliert, wobei die Simulationszeit 6 Stunden betrug. Auf Basis dieses Modells erfolgten am WZL 600 2D FEM Simulationen, die jeweils ca. 3 Minuten dauerten. Bei diesen 2D Simulationen wurden die definierten Stellgrößen Hub, Eingangsgometrie und Maschinensteifigkeit variiert und die Zielgrößen Flanschdicke und -radius ermittelt. Für die Auswahl geeigneter Simulationspunkte wurde dabei die Bayes'sche Optimierung angewendet. Auf Basis dieser Informationen erstellte das WZL Gauß-Prozess-Regressionsmodelle, welche eine sehr gute Vorhersage ermöglichen und sehr schnell sind.

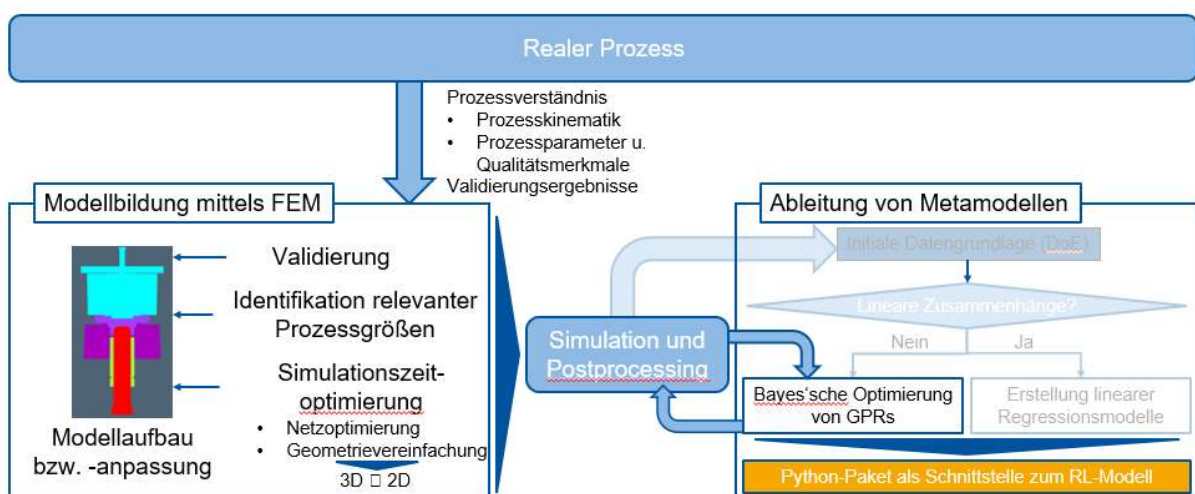


Abbildung 5: Vorgehensweise der Metamodellableitung (Quelle: MTI RWTH Aachen)

Auf Basis der gleichen Daten wurde seitens IconPro ein Modell trainiert, das ebenfalls eine gute Vorhersage ermöglicht. Insbesondere können durch das IconPro Modell Einflüsse untersucht werden, die nicht simuliert werden können. In dem vorliegenden Fall war das insbesondere die Maschinensteifigkeit.

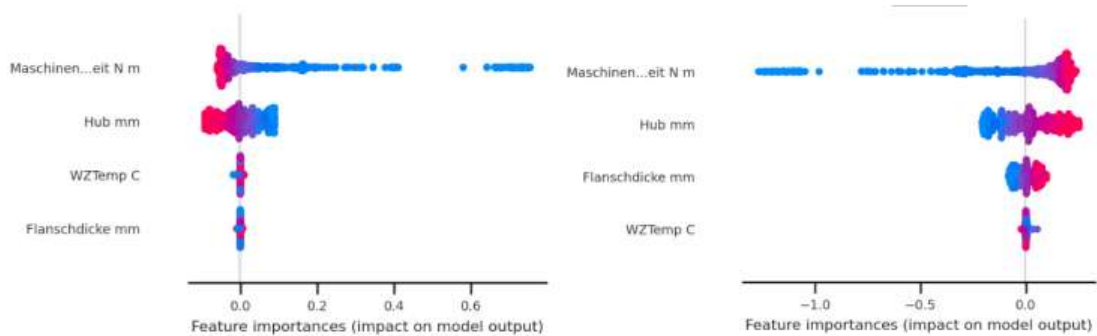


Abbildung 6: Diagramm zur Merkmalswichtigkeit (Quelle: IconPro)

Das IconPro Modell hat gegenüber dem WZL Modell den Nachteil, dass das Modell nicht als Formel vorliegt. Dafür können beim IconPro Modell komfortabel Zielgeometrien angegeben werden, das Modell errechnet dann die optimalen Einstellgrößen.

Durch das Projekt wurde gezeigt, dass eine Regelung von Umformprozessen möglich ist. Wie oben beschrieben wird ESW die gewonnenen Ergebnisse nutzen um sie in der Serienproduktion umzusetzen.

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

Im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme ProLearn ist in dem Projekt (KausaLAssist) von der Firma Seitec eine OPC-UA Datenbank entwickelt worden, bei der mehrere Anlagen mit geringem Aufwand angeschlossen werden können. Somit kann die teure und teilweise technisch nicht mögliche Nachrüstung von OPC-UA Servern in die Maschinensteuerung vermieden werden.

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

Die in dem Projekt erfolgte Strukturierung der Daten wird dazu genutzt, einen digitalen Zwilling der ESW-Bauteile zu erstellen um auch einen digitalen Produktpass zu ermöglichen. Hierdurch wird die benötigte Menge an Daten generiert, die dann die Modelle von IconPro und MTI weiter trainieren. Dazu ist ESW sowohl mit IconPro als auch mit der Firma Seitec in Kontakt um auch den Maschinenbedienern die Vorschläge der Modelle direkt an den Fertigungsanlagen bereitzustellen. Für die Installation eines geschlossenen Regelkreises sind noch Gewährleistungsthemen mit dem Anlagenhersteller zu klären, was aber als umsetzbar bewertet wird.

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

Es hat sich gezeigt, dass die Einzelteilverfolgung eine Voraussetzung für den Aufbau eines Reglers darstellt, da ansonsten die Akzeptanz der Anlagenbediener nicht erhalten werden kann. Hierzu wird mit der Firma Senodis und dem Fraunhofer IWU, die zusammen mit ESW in dem Projekt AdaProQ aus dem Kopa 35c Programm gearbeitet haben, die Teilemarkierung vorangetrieben.

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

In 2024 wurden Teile der Forschungsergebnisse von Dr. Hoppe auf der VDI Jahrestagung der Kaltmassivumformung sowie in der Arbeitsgruppe Massivumformung 4.0 des Industrieverbands Massivumformung präsentiert.