



# „Blick über den Tellerrand: KI unterstützte Prozessoptimierung“

## 1. Westerwälder Industriekolloquium

**TIME**

TECHNOLOGIE-INSTITUT FÜR  
METALL & ENGINEERING GMBH

19. Nov. 2024



- ▶ Kurzvorstellung TIME
- ▶ Digitalisierungserfahrung bei TIME
  - Digitaler Zwilling / Schweißstruktursimulation
  - Schnelle Optimierung der Schweißnahtreihenfolge dank Evolutionstheorie
- ▶ KI-Erfahrung bei TIME
  - Schweißparameteroptimierung
  - Objektsegmentierung an Makroschliffen
  - FEMUSkopie
  - Zweitsprachler:innen



## Anwendungsnahe Forschungseinrichtung und Engineering-Partner

- ▶ einzige Forschungseinrichtung mit dem Schwerpunkt Schweißen in RLP
- ▶ Struktureller Aufbau – Gesellschafter
  - 65% RLP ■ 30% LK Altenkirchen ■ 5% Universität Siegen
  - Rechtsform: GmbH, als gemeinnützig anerkannt
  - Finanzierung:
    - Wirtschaftlicher Geschäftsbetrieb (kostenpflichtige Engineering- und Dienstleistungen)
    - Ideeller Bereich (Anwendungsforschung)
    - Keine Grundfinanzierung, sondern Nachschusspflicht der Gesellschafter
- ▶ **Ziel:** Technologietransfer und vorwettbewerbliche Unterstützung
- ▶ **Arbeitsweise:** ergebnisorientiert, flexibel, digital und effizient





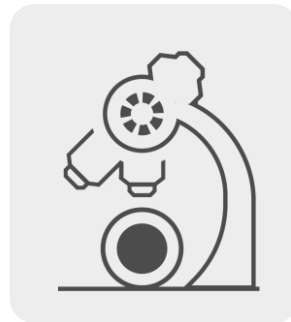
*„you will never weld alone“*



**Schweißtechnik  
& Automation**



**Simulation  
& KI**



**Werkstoffprüfung  
& Bauteilprüfung**

Forschung

Engineering-Leistungen

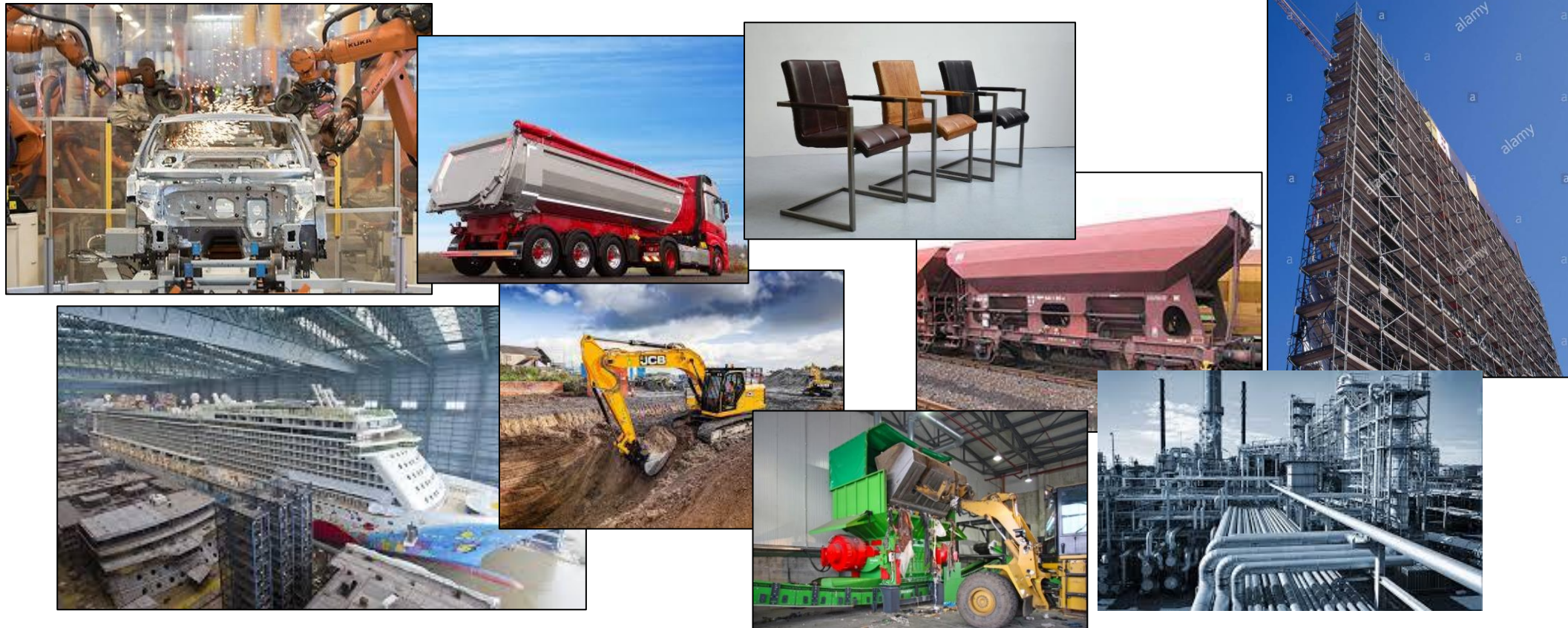
**Anwendungsnahe Forschungseinrichtung  
und Engineering-Partner mit umfangreichem,  
eigenem Anlagen- und Maschinenpark**

- ▶ kombiniert werkstoffkundliche, schweißtechnische und digitale Kompetenz
- ▶ verknüpft in einzigartiger Weise Maschinenbau und Informatik (Digitalisierung, KI) am Beispiel Schweißen



# Warum Schweißen als Hauptthema?

- ▶ Was im Kannenbäckerland die Tonverarbeitung, ist das das Schweißen im Westerwald





# Warum ist das für SIE interessant?



Quelle: Gebr. Pfeiffer SE



Quelle: Tallers Feilpe Verdes S.A.



Quelle: iStock

- ▶ ohne geschweißte Stahlbauteile läuft bei Ihnen nichts !
- ▶ Die gezeigten Beispiele lassen sich evtl. auf Ihre Tätigkeiten übertragen



# Warum ist das für SIE interessant?

- ▶ Die verfügbare schweißtechnische Kompetenz entscheidet mit über unsere Zukunft



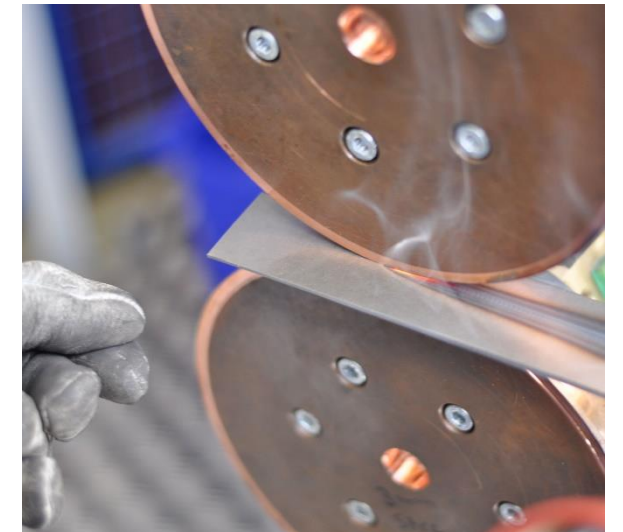
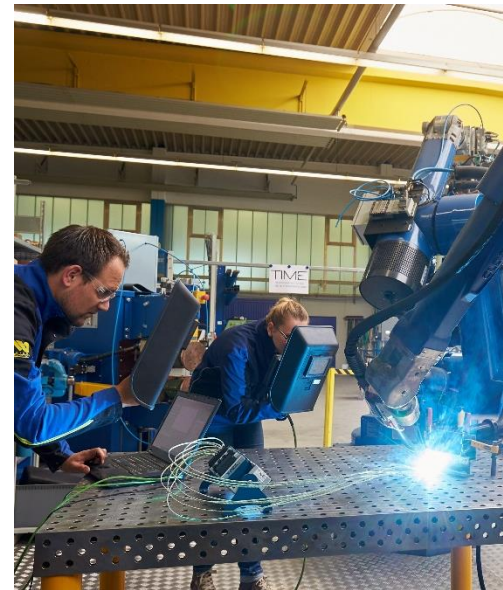
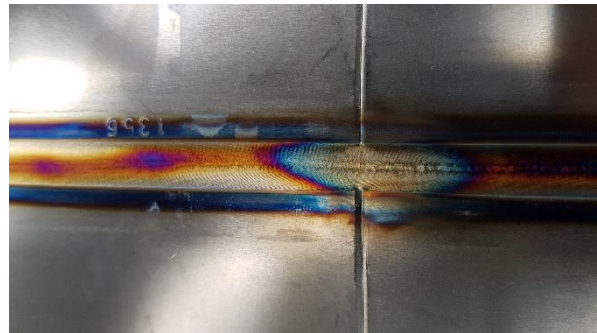
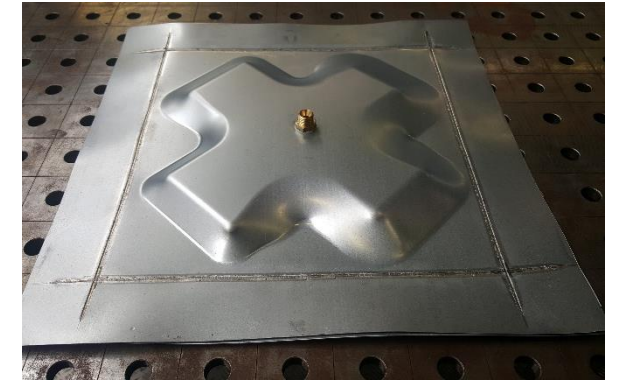


Alles rund um Ihren Prozess

- ▶ Optimierung Ihres Schweißverfahrens
- ▶ Entwicklung von Schweißprozessen
- ▶ Automatisierung von Schweißprozessen
- ▶ Begleitung bei Beschaffung und Inbetriebnahme
- ▶ Einrichten von Anlagen
- ▶ Personalschulung
- ▶ Fertigung von Prototypen und Musterserien
- ▶ Vorrichtungsbau
- ▶ Ext. Schweißaufsicht
  
- ▶ Kompetenz in den Bereichen:
- ▶ Lichtbogen-, Plasma und Widerstandsschweißen  
Zugriff auf Laser- und Laser-Hybridschweißanlagen







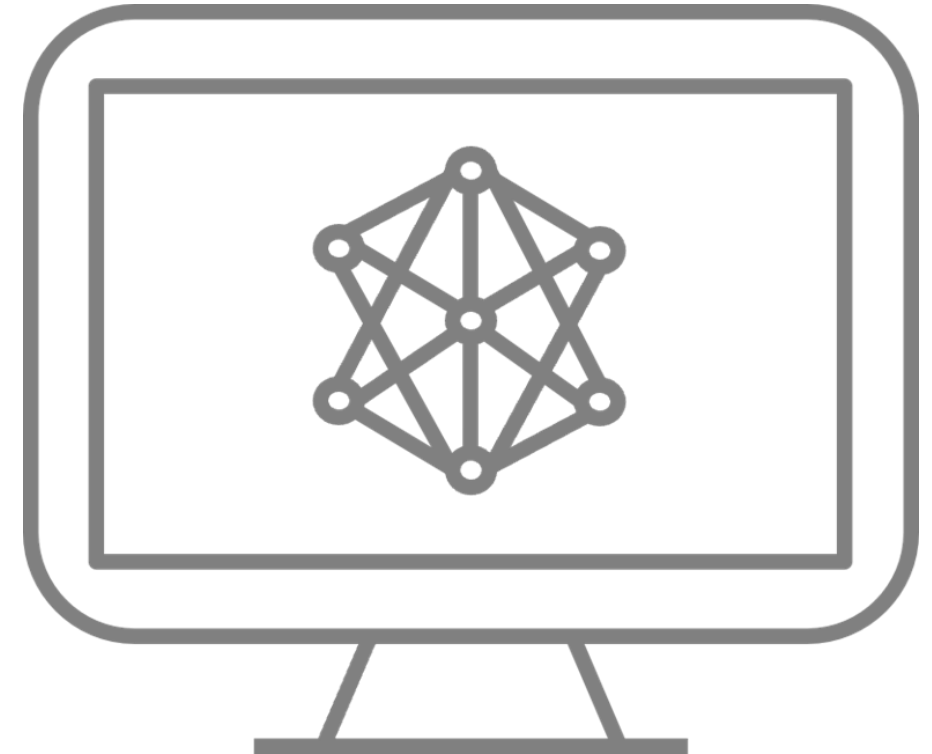


## Simulation

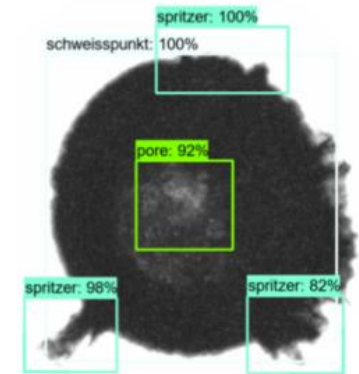
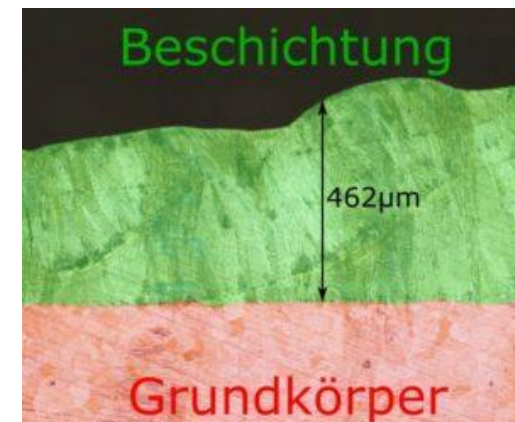
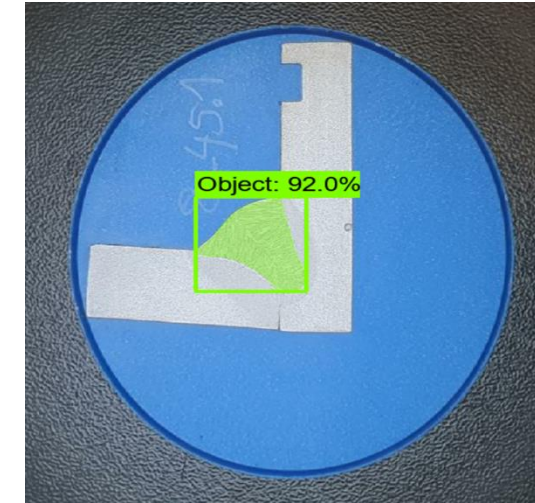
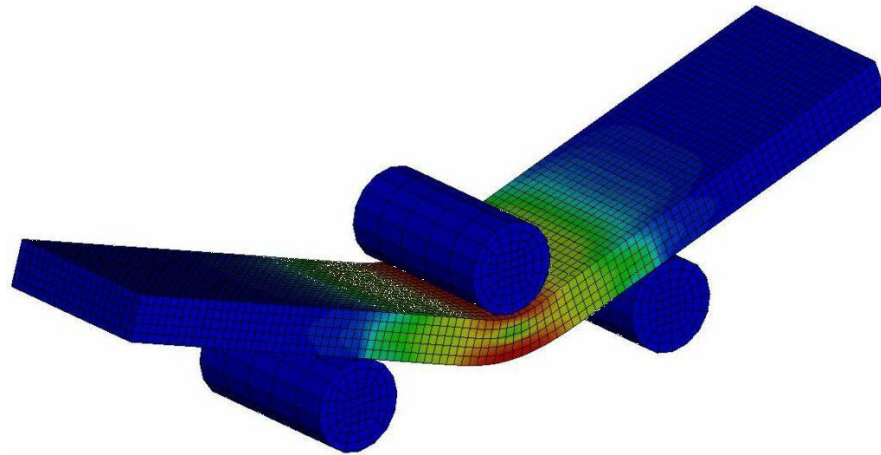
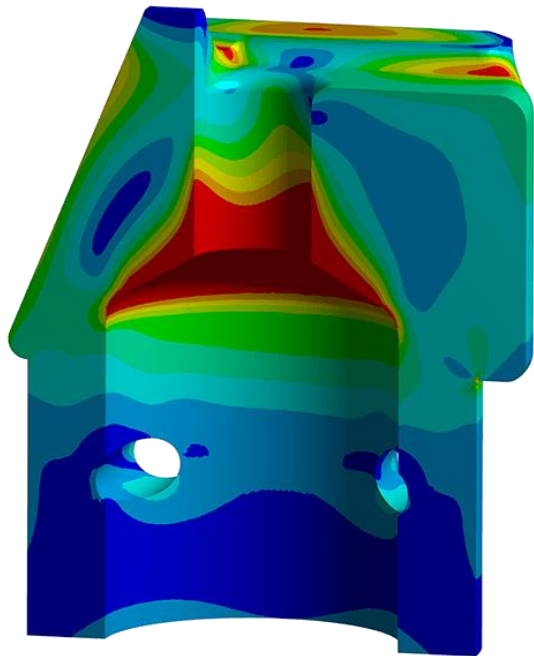
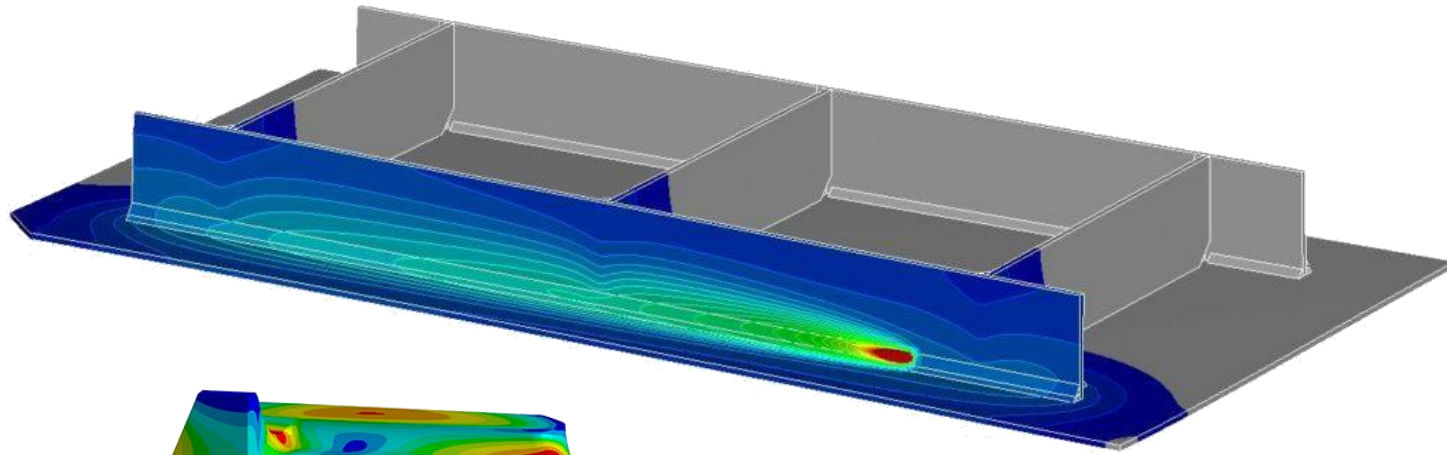
- ▶ Strukturmechanische Simulationen
- ▶ Thermische Simulation
- ▶ Thermisch-mechanisch gekoppelte Simulationen / Schweiß-Struktur-Simulation
- ▶ Topologie und Topografie Optimierungen für thermisch/mechanische Probleme

## KI in der Schweißtechnik und deren Qualitätssicherung

- ▶ Anwendung Künstlicher Intelligenz mit Schwerpunkt der Computer Vision
- ▶ Automatisierte Auswertung von Querschliffen
- ▶ Automatisierte Auswertung von Härteeindringprüfungen
- ▶ Bearbeitung mit Python und dem Framework PyTorch









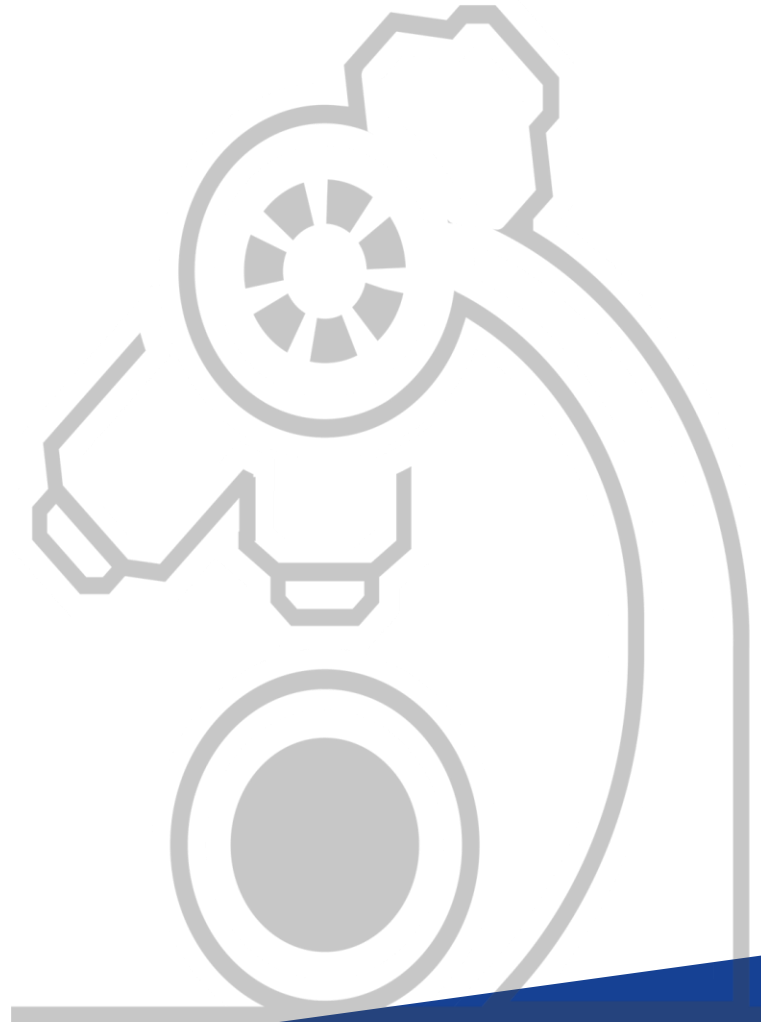


## Labordienstleistungen

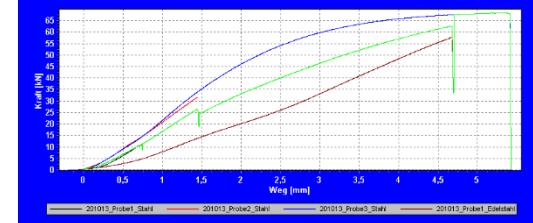
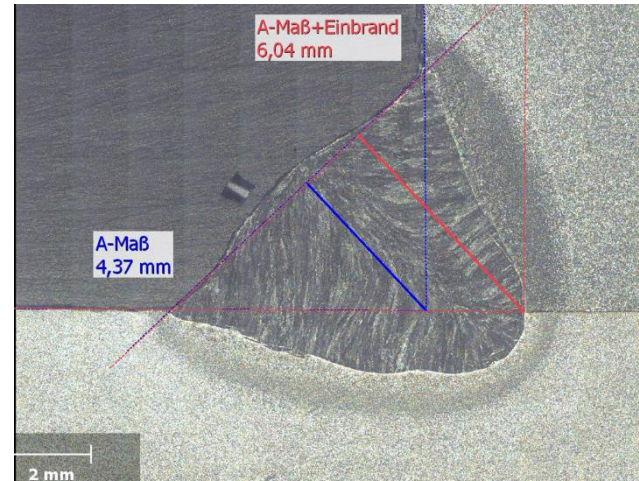
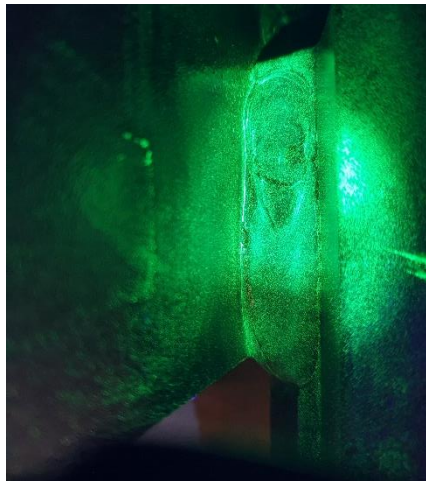
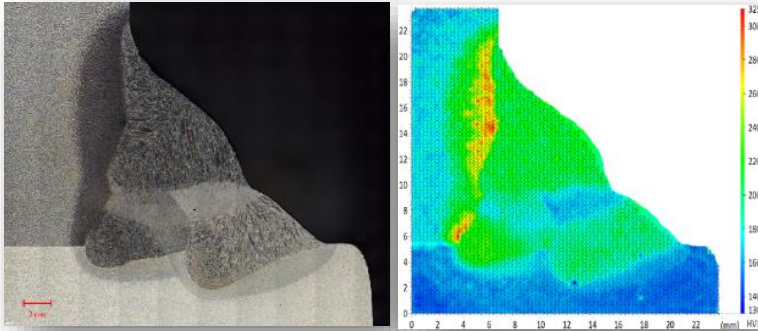
- ▶ ZfP am Bauteil (VT, PT)
- ▶ Schliffpräparationen Makro- und Mikroschliffe und Auswertung
- ▶ Härtemessung, Randschichtmessung und Härtemapping
- ▶ Spektroskopie
- ▶ Mechanische Prüfung
- ▶ Individuelle Bauteilprüfung

## Schulung und Beratung nach Kundenbedarf

- ▶ Herstellung von Schliffen (Mitarbeiterschulung am Kundenbauteil)
- ▶ Präparations- und Produktberatung
- ▶ Auswertung von Schweißverbindungen nach Normen und Richtlinien
- ▶ Verfahren und Vorrichtungen zur Bauteilprüfung



# Werkstoff- und Bauteilprüfung



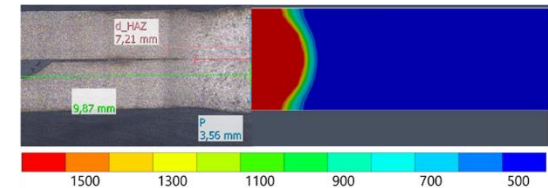
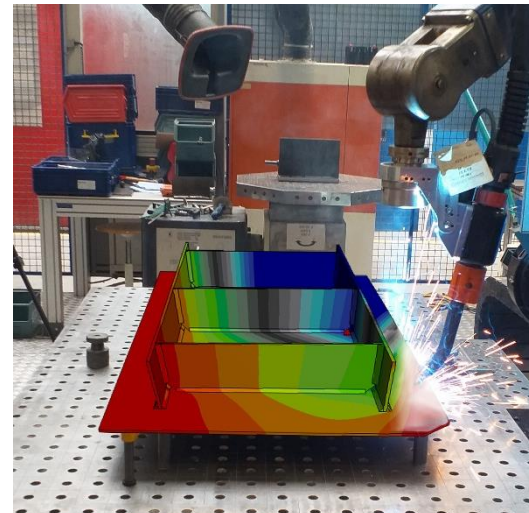




## Durchführung von Forschungsvorhaben zu den Themen Schweißtechnik, Automation, Simulation, KI und Werkstoffprüfung

Thematische Schwerpunkte:

- ▶ Schweißprozessoptimierung
- ▶ Energie- und Ressourcenschonung
- ▶ Schweißstruktursimulation
- ▶ KI-basierte Schweißprozessoptimierung
- ▶ KI-basierte Werkstoff- und Bauteilprüfung

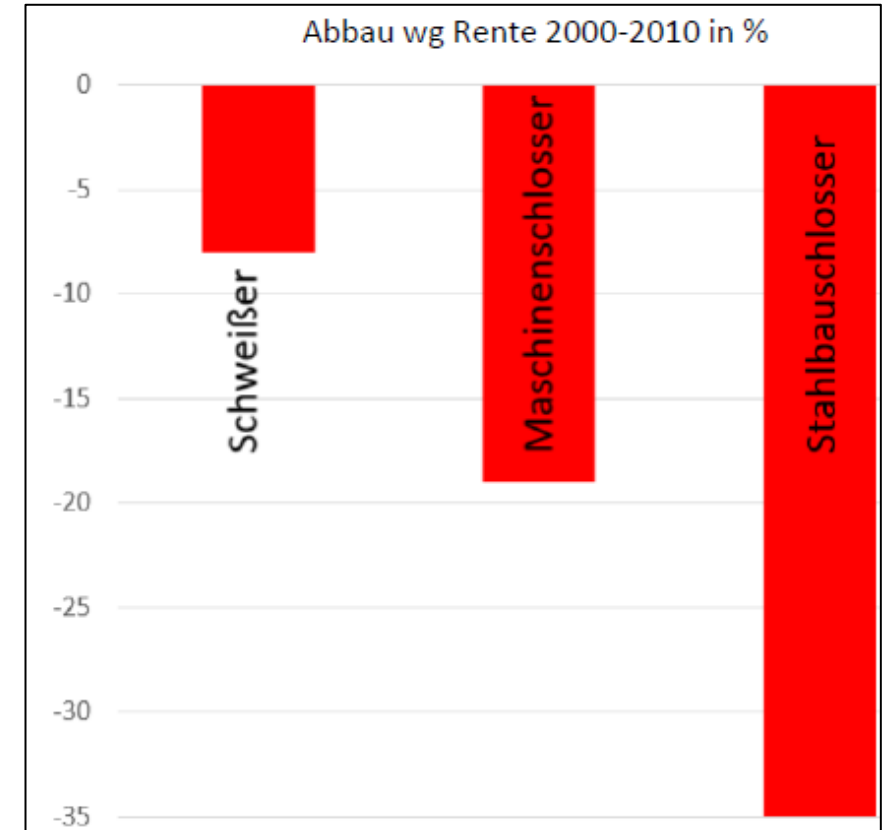




# Herausforderung



- ▶ Eine gute schweißtechnische Kompetenz ist für viele Unternehmen existenziell. Jedoch nimmt die Zahl der Personen mit schweißtechnischer Expertise dramatisch ab
- ▶ Großes Einsparpotential durch Prozessoptimierung und Digitalisierung
- ▶ Kompensation des Fachkräftemangels durch Automatisierung
- ▶ Kaum ein Unternehmen hat eine eigene Entwicklungsabteilung



Quelle: VDA 2012

- ▶ 54% der Unternehmen finden schon heute keine Nachfolger für Stellen, die wiederbesetzt werden sollen
- ▶ In Zukunft wird sich der Fachkräftemangel weiter verstärken
- ▶ 42 % der befragten Unternehmen gaben an, dass aufgrund fehlender Fachkräfte bereits heute - und in Zukunft zunehmend - Aufträge nicht oder nur teilweise ausgeführt werden können. Als Folge hieraus sind bereits jetzt Umsatzeinbußen bei den Unternehmen zu verzeichnen.



(Quelle: Umfrage des Deutschen Verbands für Schweißen und verwandte Verfahren e. V. DVS in 2008)

# Was ist die Lösung?

---

Lösung:

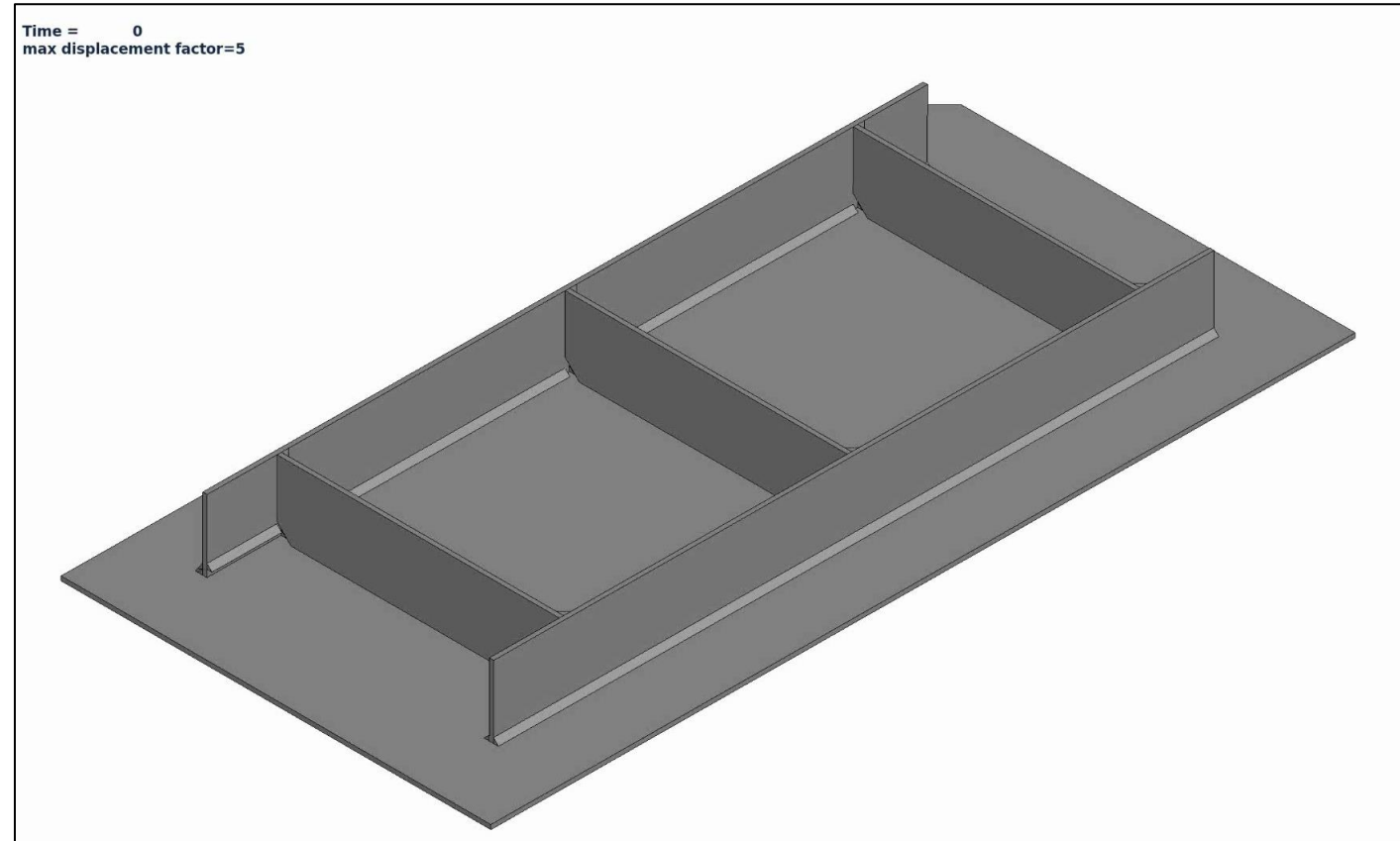
**Weiterentwicklung !**





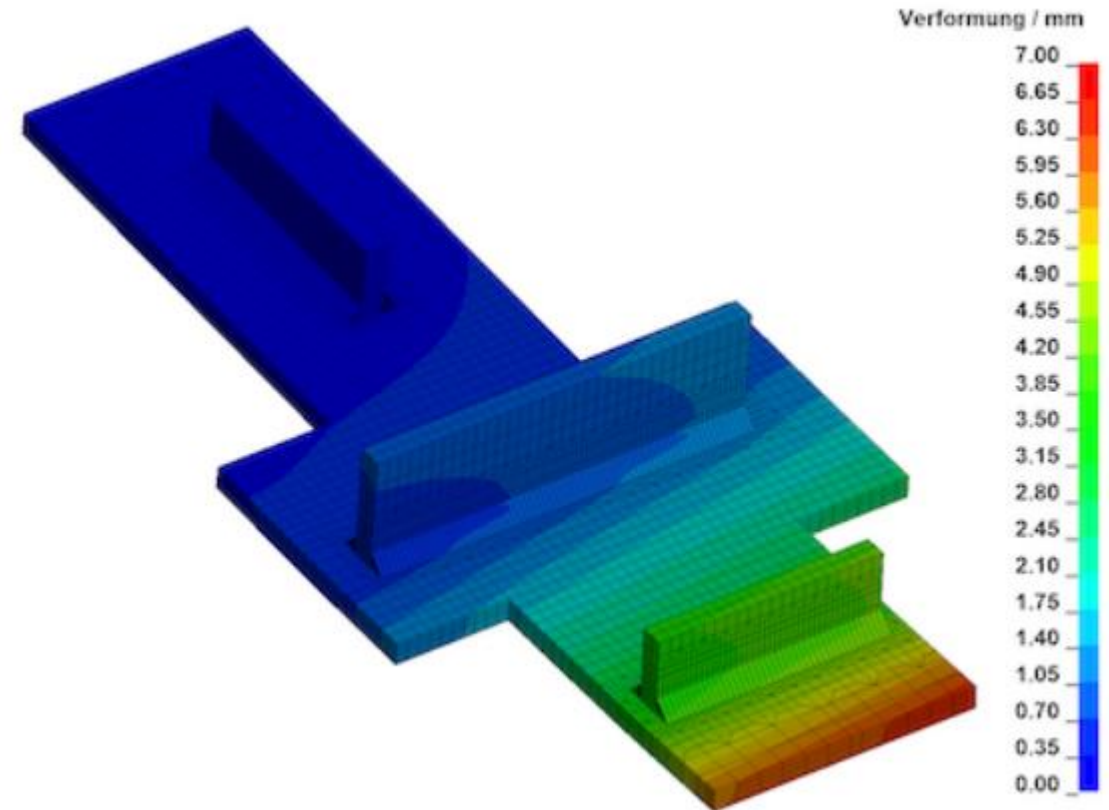
## ► Schweißstruktursimulation

- rechnergestützte Vorhersage des Schweißverzugs
- Optimierung der Schweißprozesse
  - Schweißnahtfolge
  - Spanntechnik
- Kürzere Taktzeiten für größere Produktivität
- Berechnung von
  - Temperaturen,
  - Verformungen,
  - Eigenspannungen,
  - Gefüge
- **Berechnungsdauer**
  - Konventionelle Programme → Tage bis Wochen
  - Grafikkarten-basierte Programme → Stunden





- ▶ **Schweißverzug minimieren**
  - Vorhersage der Schweißnahtreihenfolge mit dem geringsten Verzug dank Evolutionstheorie
- ▶ **Optimierung**
  - Schweißnahtfolge
  - Spanntechnik
  - Nacharbeitsaufwand
- **Berechnungsdauer**
  - Stunden

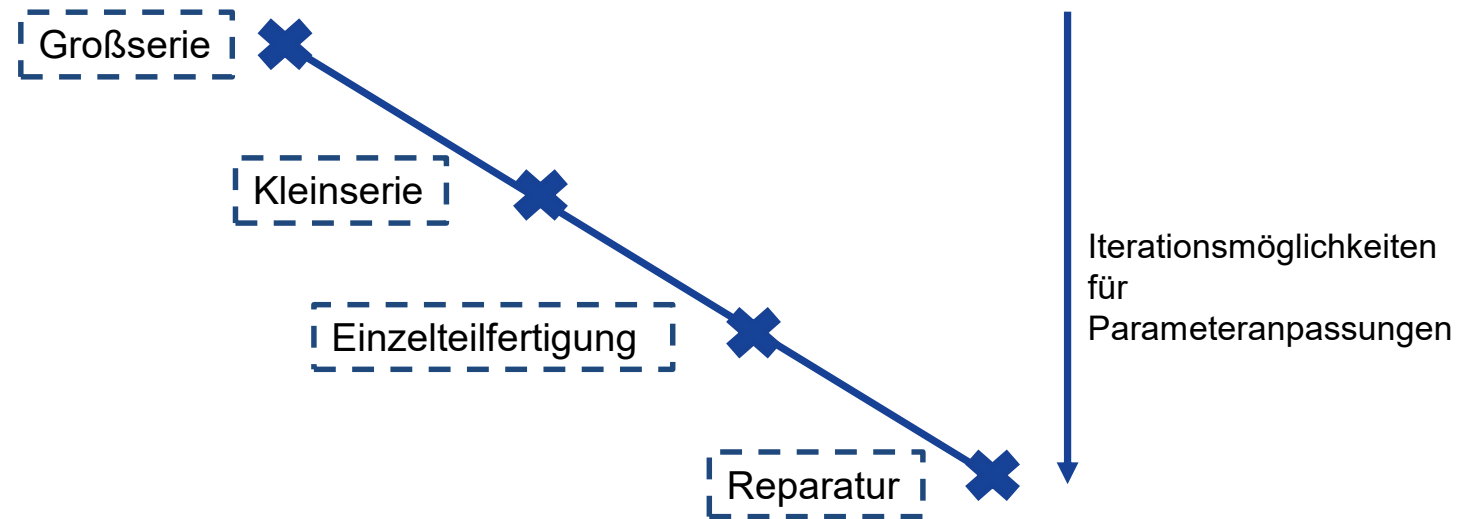




## Schweißparameteroptimierung



- ▶ Individualisierung
- ▶ Variantenvielfalt
- ▶ Produktionsflexibilität
- ▶ Wettbewerb
- ▶ Qualität ↑ - Kosten ↓



Großserie

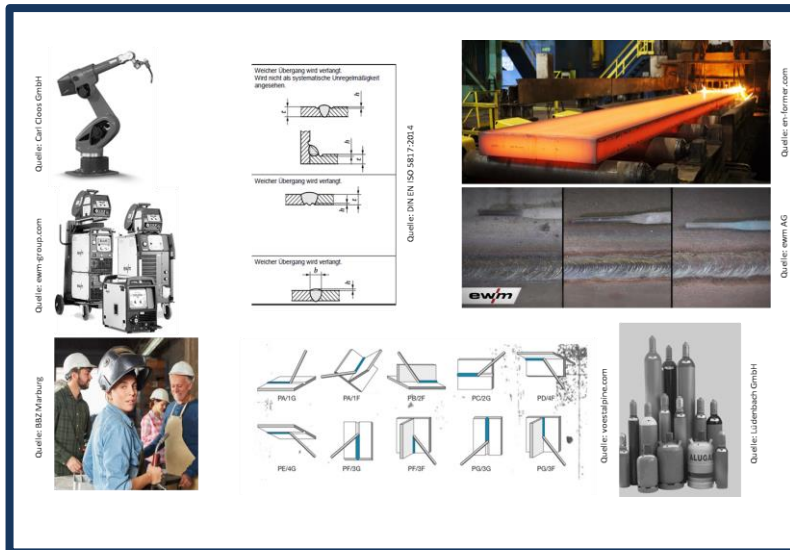


Kleinserie



Einzelteil / Reparatur

## Eingabedaten Schweißverbindung



## KI „Black box“



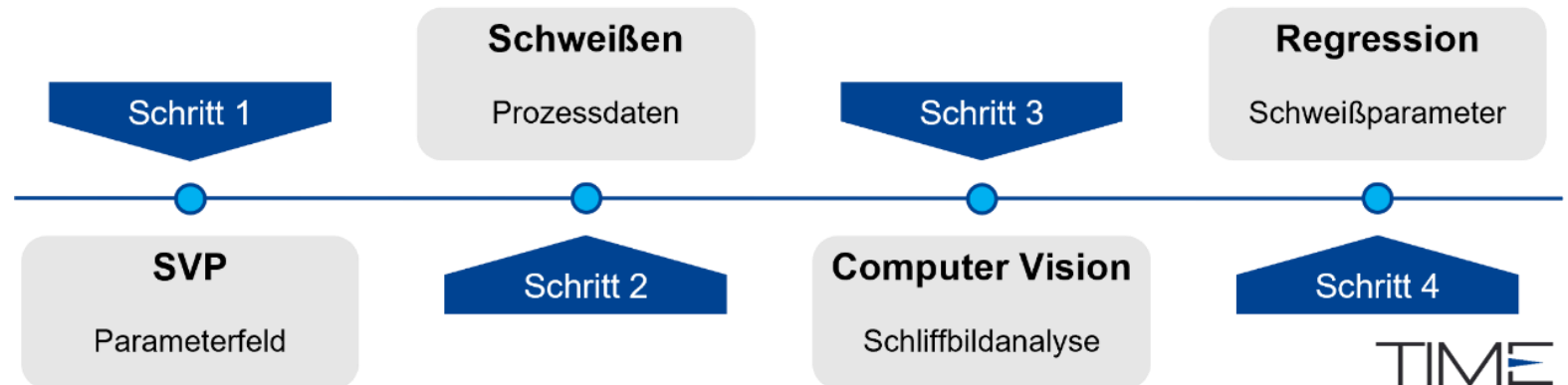
## Ausgabedaten Schweißprozess

Schweißspannung / Schweißstrom  
Drahtvorschubgeschwindigkeit  
Schweißgeschwindigkeit  
Brenneranstellwinkel  
...

► Unter Vorgabe der Schweißnahtdetails werden die zur Herstellung notwendigen Prozesseinstellwerte prognostiziert.



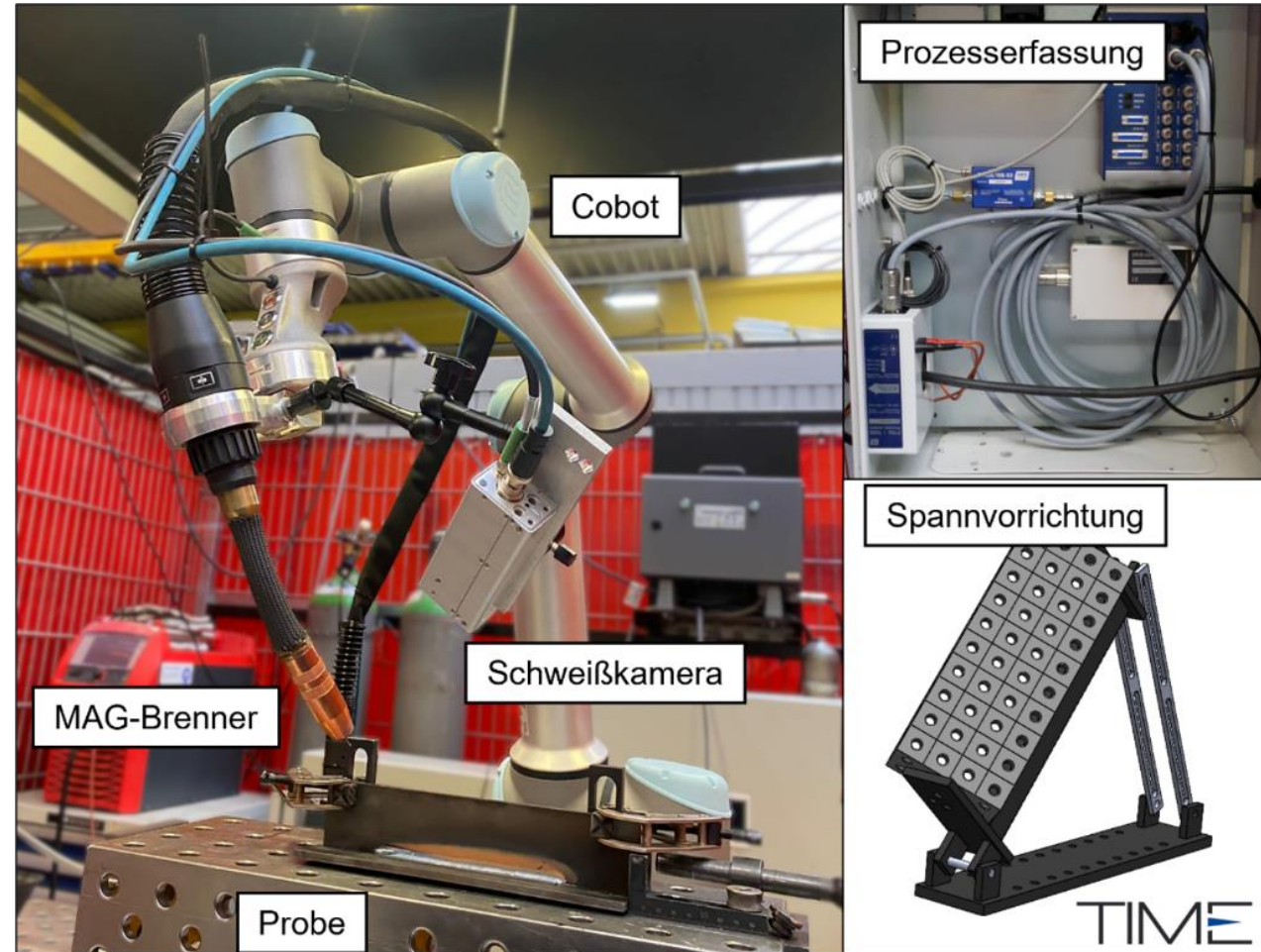
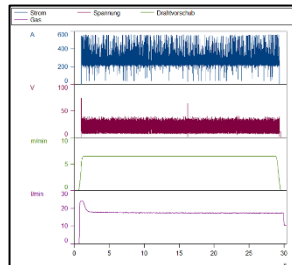
- ▶ Potentielle Einflussgrößen
- ▶ Statistische Versuchsplanung (SVP)
- ▶ Hochfrequente Datenerfassung
- ▶ Zeitreihen
- ▶ Metallographie
- ▶ Unstrukturierte Bilddaten
- ▶ Regressionsmodelle



Girresser, Tobias ; Wirth, Moritz: Mit KI aufwendige Schweißversuche reduzieren. In: maschinenbau (2023), Nr. 2, S. 50–53

# Generierung von Trainingsdaten

- Prozessdaten:
  - Schweißstrom,
  - Schweißspannung,
  - Drahtvorschubgeschwindigkeit,
  - Schutzgas-Volumenstrom
- Daten zur Auswertung:
  - Temperatursensoren,
  - Thermokamera
  - Inkrementaldrehgeber



## ► Kamera zur Schweißprozessüberwachung

**identifizieren**

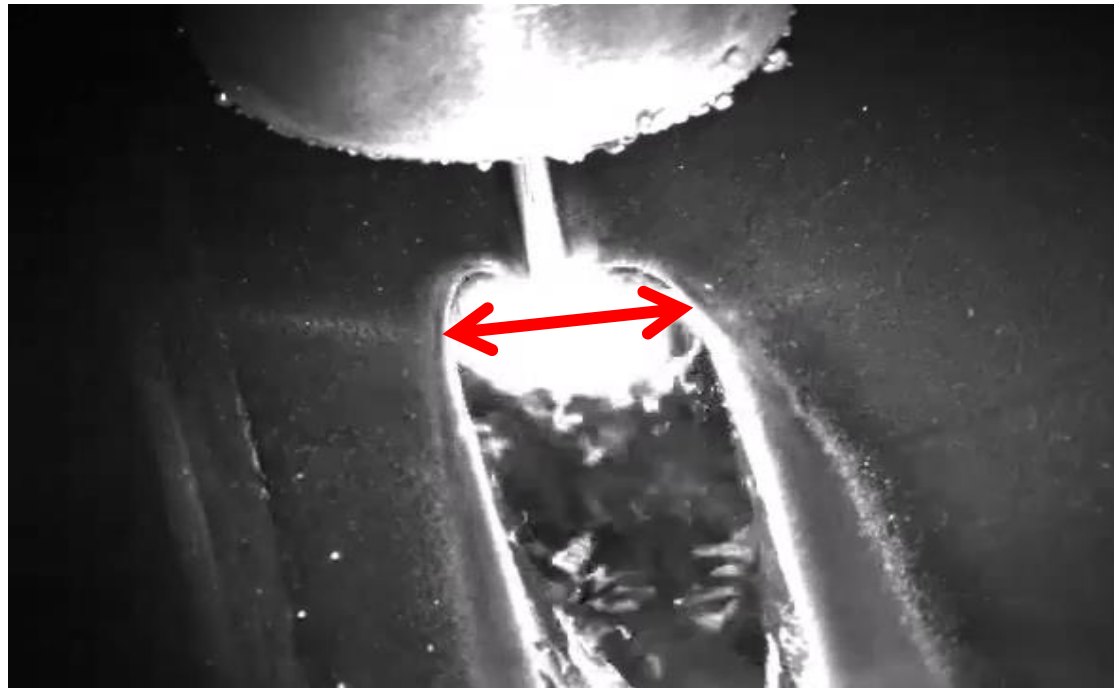
Prozessunregelmäßigkeiten

**quantifizieren**

Schmelzbadkenngößen

**dokumentieren**

Qualitätsmerkmale







## ▶ Zeitabhängige Schweißprozessdaten:

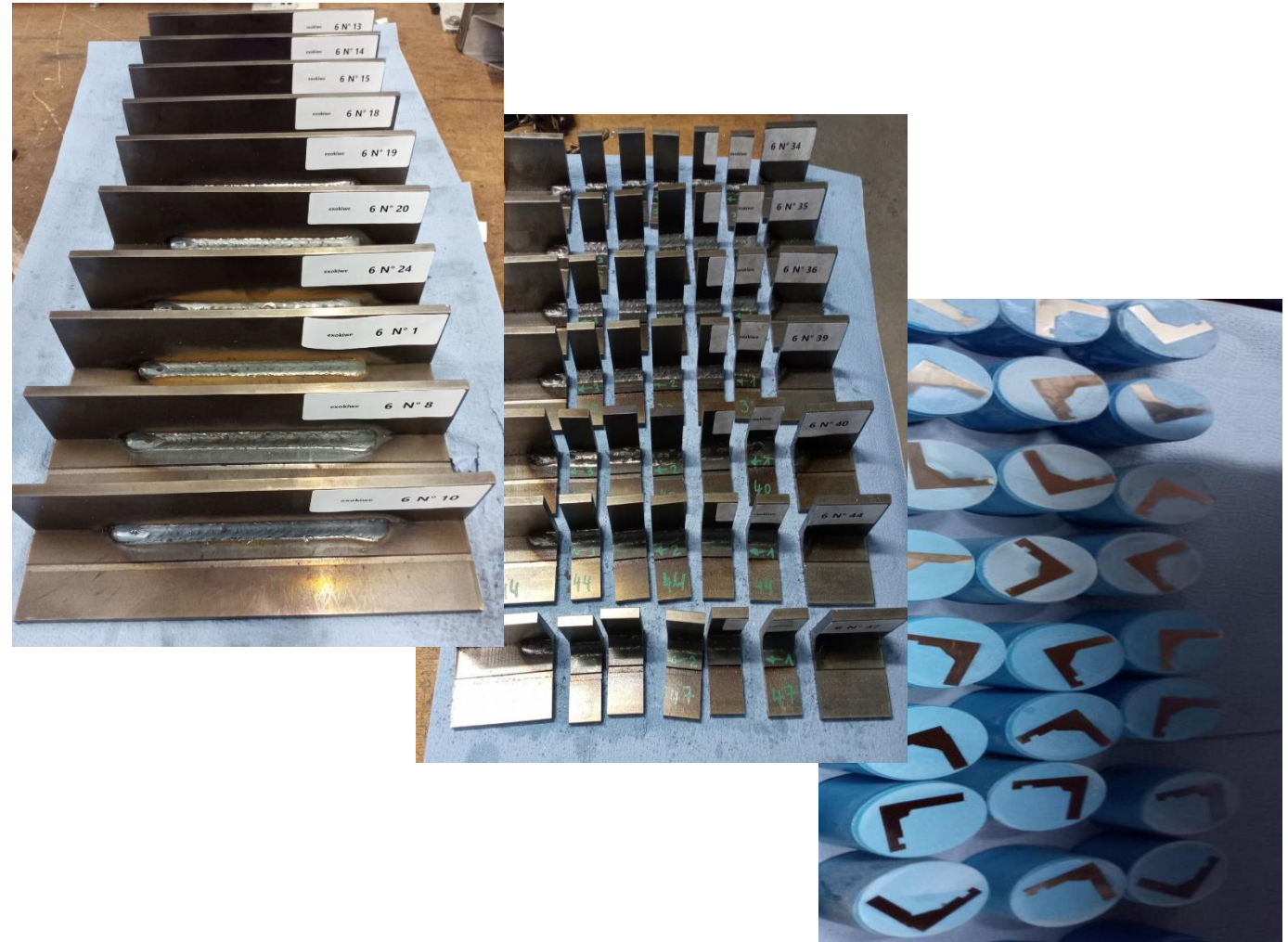
- elektrische Prozessparameter
- Schweißgeschwindigkeit / Weg
- Drahtvorschubgeschwindigkeit
- (Gasvolumenstrom)

## ▶ Zeitabhängige Daten:

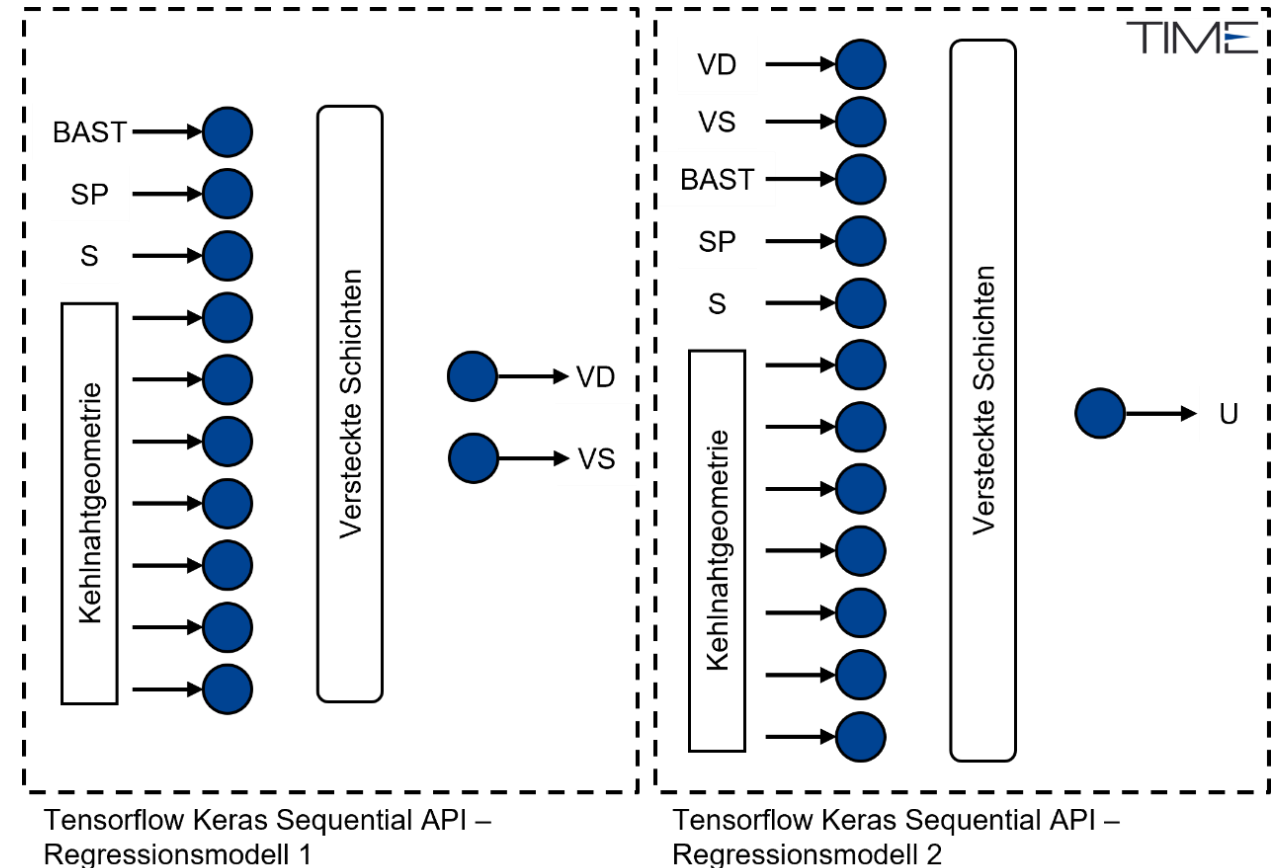
- Video Schweißkamera je Versuch
- Ortsabhängige Querschnittsinformationen

## ▶ Probenpräparation:

- 3 Querschliffe je Probe
- Nahtprofil
- Schweißnahtabmessungen
- Einbrandverhältnisse (GW / ZW) (WEZ)



- ▶ Tensorflow Keras API
- ▶ Einflussgrößen
  - Brenneranstellwinkel
  - Schweißposition
  - Blechdicke
  - Kehlnahtquerschnitt
- ▶ Zwei Netzwerkarchitekturen
  - Drahtvorschub- und Schweißgeschwindigkeit
  - Schweißspannung



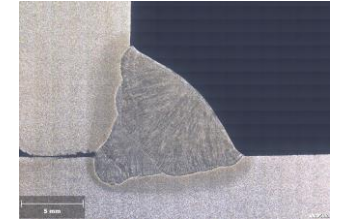
[1] S. 52  
Girresser, Tobias ; Wirth, Moritz: Mit KI aufwendige Schweißversuche reduzieren. In: maschinenbau (2023), Nr. 2, S. 50–53

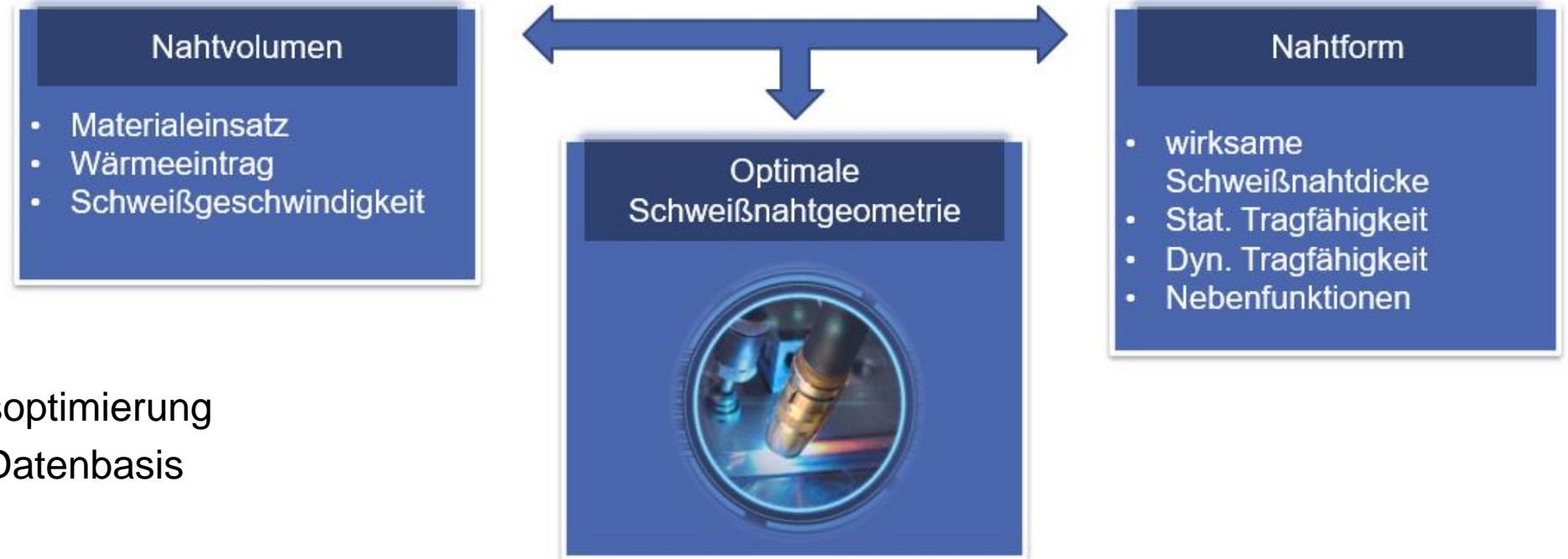


- ▶ **Analyse zeitabhängiger Schweißprozessdaten**
- ▶ Sensorische Erfassung von Stromstärke, Spannung, Gasfluss, Drahtvorschub, Schweißgeschwindigkeit, Temperatur
- ▶ Synchronisierung der Zeitstempel unterschiedlicher Messsysteme
- ▶ Analyse der Zeitsignale im Zeit- und Frequenzbereich mit dem Ziel der Muster- bzw. Anomalie-Erkennung
- ▶ Merkmalsextraktion aus Prozessdaten
- ▶ Korrelationsanalyse mit qualitätssicherungsrelevanten Kenngrößen
- ▶ Aufstellen, trainieren und testen von Prognosemodellen (Regression) für diese Kenngrößen mit Tensorflow
- ▶ Nutzen der Prognosemodelle für Regelungs- und Automationsaufgaben



- ▶ **Analyse von Bilddaten**
- ▶ Generierung von Schliffbildern der Schweißverbindung
- ▶ Genaue Lokalisierung der Schweißnaht mithilfe von Mask-RCNN
- ▶ Extraktion geometrischer Merkmale sowie von Unregelmäßigkeiten
- ▶ Synchronisation zwischen Zeitstempel und Schliffkoordinaten
- ▶ Korrelationsanalyse zwischen Bildmerkmalen und aus der Zeitreihenanalyse extrahierten Prozessmerkmalen
- ▶ Prognose der schweißtechnisch relevanten Merkmale





- ▶ KI-basierte Prozessoptimierung bereits bei kleiner Datenbasis
- ▶ Weniger Versuche
  - Materialeinsparung
  - Zeiteinsparung
- ▶ Gute Schweißergebnisse ab Losgröße 1





## 1. Die richtigen Schweißparameter bei kleinen Datenmengen

- ▶ Übertragbarkeit
- ▶ Überall dort, wo kleine Datenmengen anfallen



Quelle: <https://zmscable.es/en/southwire-nkt-proyecto-chpe/>

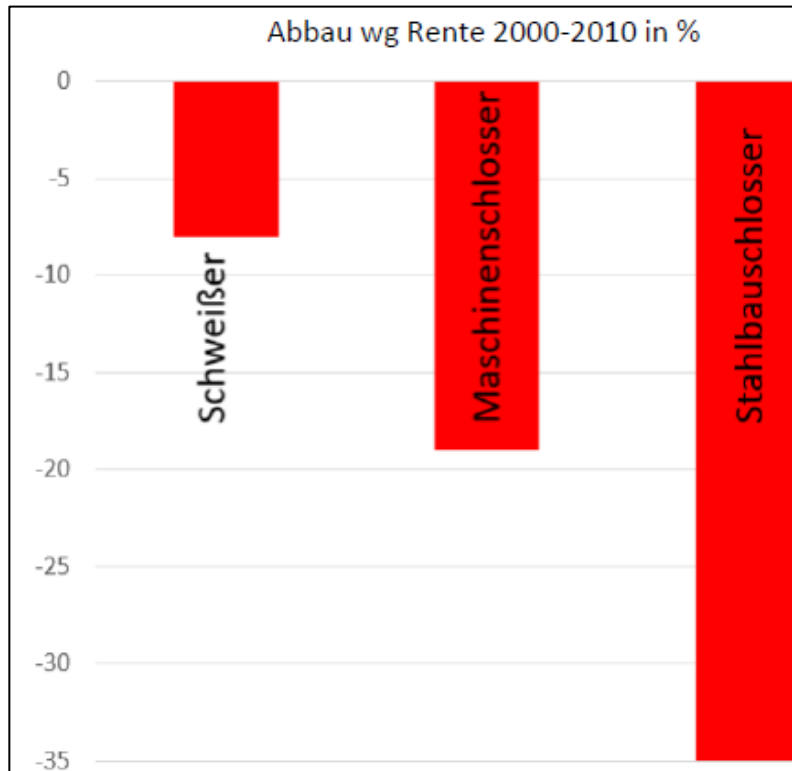


## Objektsegmentierung an Makroschliffen



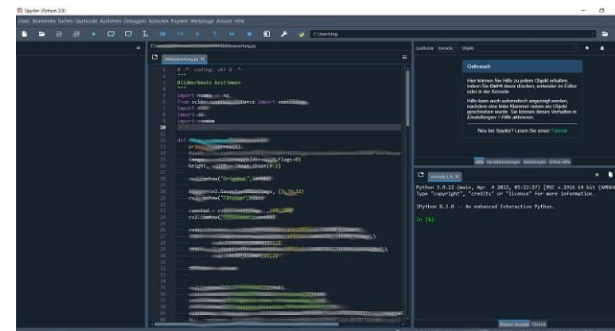
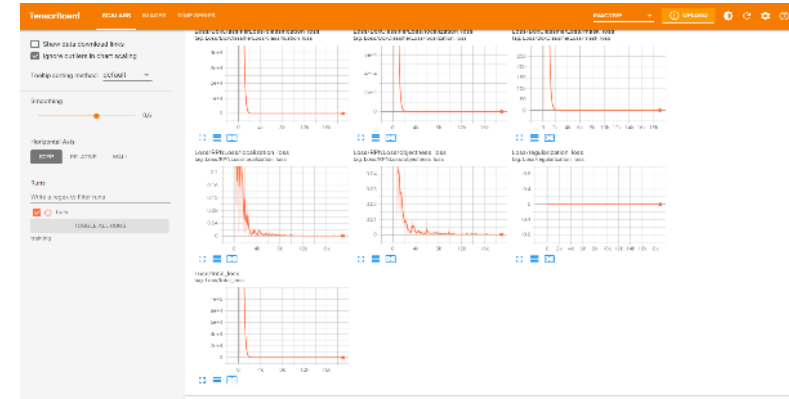
Fachkräftemangel bei Schweißfachpersonal

... und bei der Werkstoffprüfung?



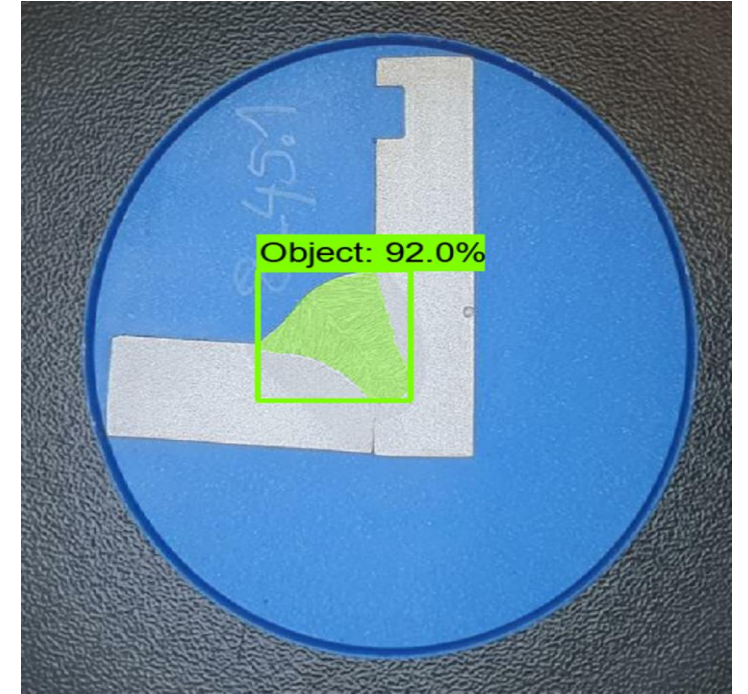
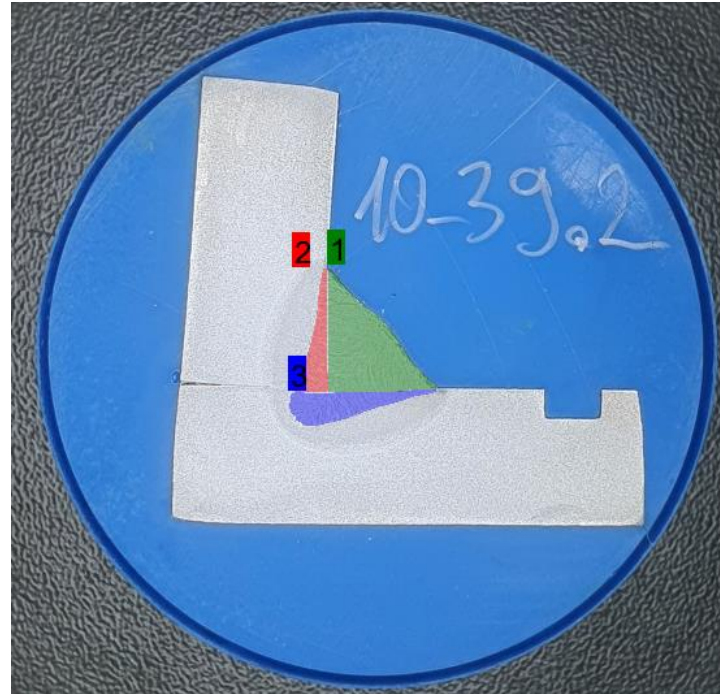
Quelle: VDA 2012



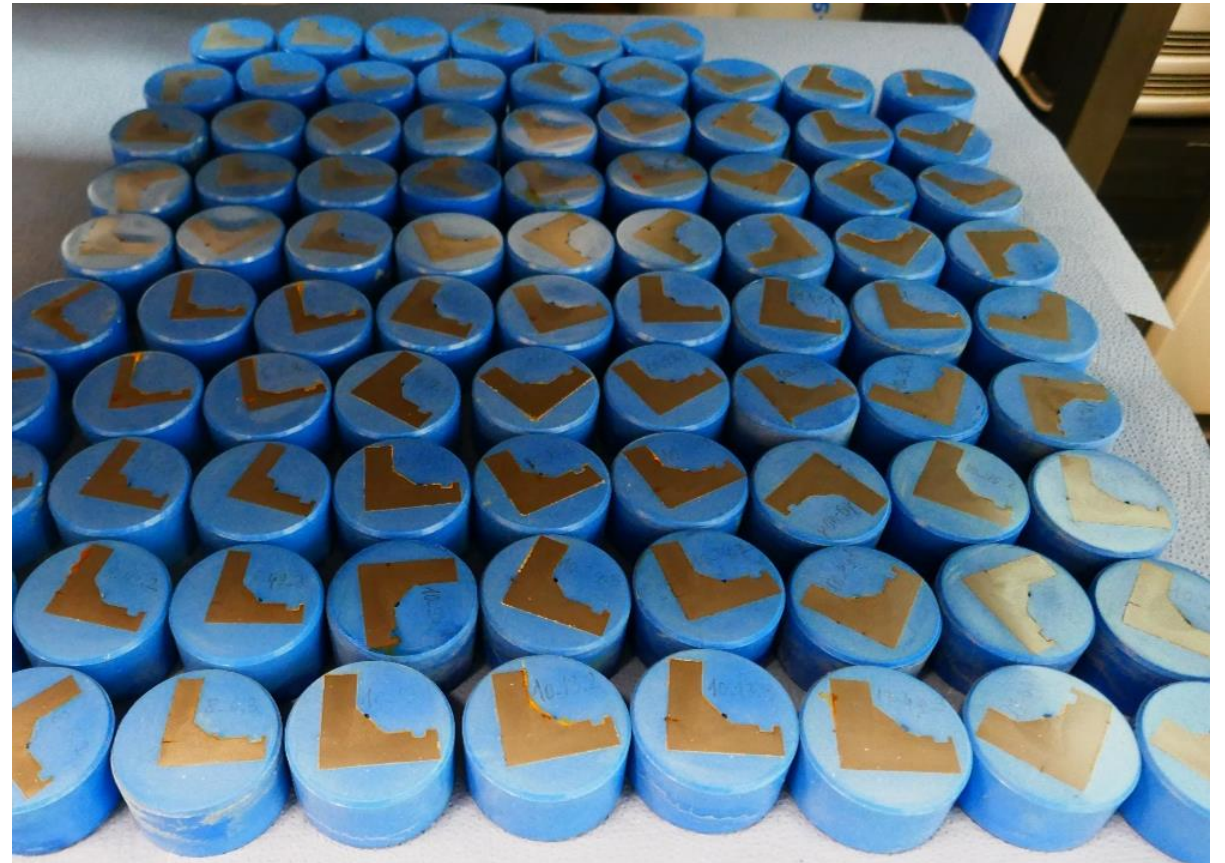


[2] S. 575  
Wirth, Moritz ; Girresser, Tobias: Hürden und Potenziale.  
Der Praktiker (2022), Nr. 11, S. 572–575

- ▶ KI-basierte, automatisierte Vermessung von Querschliffen



- ▶ genauer
- ▶ Keine Ermüdung
- ▶ neutrale Beurteilung
- ▶ Ersatz fehlenden Fachpersonals
- ▶ schneller





## Objektsegmentierung an Makroschliffen

### ► Übertragbarkeit

► Immer, wenn´s schwierig zu lesen oder zu bewerten ist



Quelle: <https://www.autogefuehl.de/2014/09/29/reifenbezeichnung-erklarung-steht-wofur/>



Quelle: <https://www.gesundheit.de/krankheiten-symptome/krebs/hautkrebs/schwarzer-hautkrebs-id214277/>



**Erprobung**  
der Anwendung von  
**Künstlicher Intelligenz**  
in der  
**Schweißtechnik**

und Abschätzung der ökonomischen und ökologischen Einsparpotentiale  
(**exokiwe**)

## FEMUSKopie

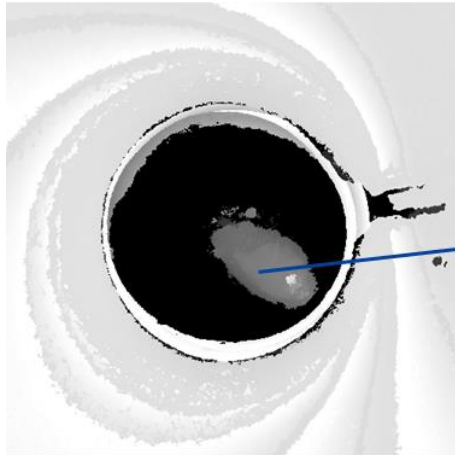




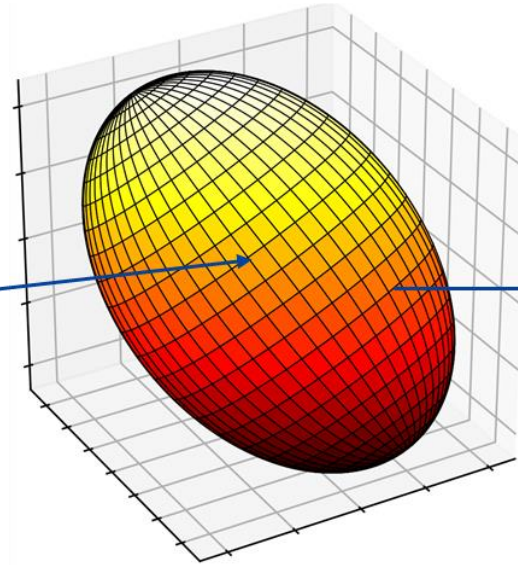
- ▶ zerstörungsfreie Qualitätssicherung von Punktschweißverbindungen



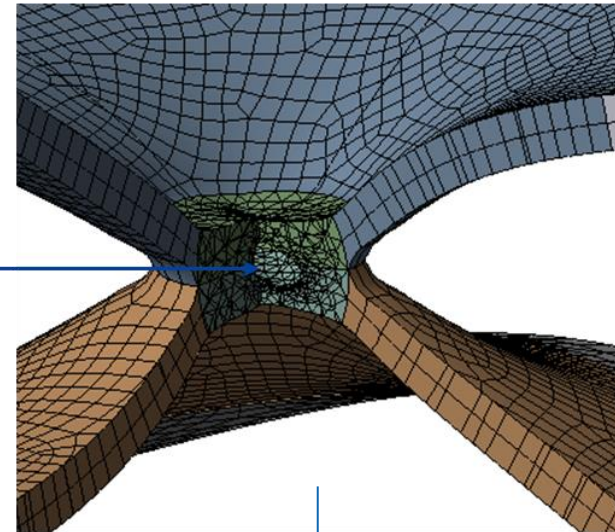
USM Bild



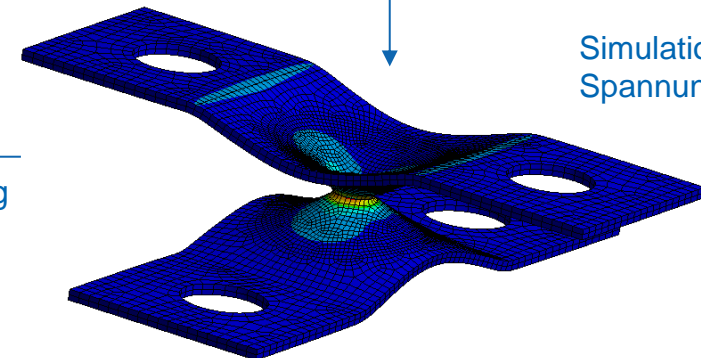
Punktwolke



FEM



Validierung



Simulation Spannungen

- ▶ **zerstörungsfreie Qualitätssicherung von Punktschweißverbindungen (Novum)**
- ▶ *Klassifikation* der Schweißverbindung in Bewertungsgruppen auf Basis detektierter Unregelmäßigkeiten
- ▶ *Prognose* der Festigkeit eines einzelnen Punkts auf Bildbasis
- ▶ *FEM-Simulation* des Bauteilverhaltens hinsichtlich der Festigkeit auf Basis von Ersatzmodellen



The end

TIME

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit  
und  
Glück auf!**





# TIME

TECHNOLOGIE-INSTITUT FÜR  
METALL & ENGINEERING GMBH

Technologie-Institut für Metall und Engineering GmbH (TIME)  
Koblenzer Str. 43  
57537 Wissen/Sieg

Tel. 02742/91272-0  
[www.time-rlp.de](http://www.time-rlp.de)