



# ERWEITERUNG EINES KI-GESTÜTZTEN ASSISTENZSYSTEMS ZUR OPTIMIERUNG VON LASERSCHNEIDPARAMETERN FÜR EDELSTAHLBLECHE

## Projektarbeit T2000

des Studienganges Elektrotechnik  
Fachrichtung Automation  
an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg  
Standort Stuttgart

**Tudor Lupsa**

08.09.2025

<b>Bearbeitungszeitraum</b>	02.06.25 - 08.09.25
<b>Matrikelnummer, Kurs</b>	1491114, TEL23GR3
<b>Dualer Partner</b>	TRUMPF SE+Co.KG, Ditzingen
<b>Betreuer des Dualen Partners</b>	Manuel Geiger

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>II</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>IV</b>
<b>1 Einführung</b>	<b>1</b>
1.1 Zielsetzung . . . . .	1
1.2 Vorgehensweise . . . . .	1
<b>2 Grundlagen</b>	<b>3</b>
2.1 Laserschneiden von Edelstahl . . . . .	3
2.2 Grundlagen der Künstlichen Intelligenz . . . . .	4
2.3 Cutting Edge AI . . . . .	4
2.4 Messzelle und optische Messmethoden . . . . .	4
<b>3 Stand der Technik</b>	<b>5</b>
<b>4 Überschrift auf Ebene 0 (chapter)</b>	<b>6</b>
4.1 Überschrift auf Ebene 1 (section) . . . . .	6
4.1.1 Überschrift auf Ebene 2 (subsection) . . . . .	6
4.2 Listen . . . . .	7
4.2.1 Beispiel einer Liste (itemize) . . . . .	7
4.2.2 Beispiel einer Liste (enumerate) . . . . .	8
4.2.3 Beispiel einer Liste (description) . . . . .	8
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>10</b>

# Abkürzungsverzeichnis

Ein Abkürzungsverzeichnis ist optional. Das Paket `acronym` kann weit mehr, als hier gezeigt.<sup>1</sup> Beachten Sie allerdings, dass Sie die Einträge selbst in sortierter Reihenfolge angeben müssen.

<b>CRM</b>	Customer Relationship Management
<b>DHBW</b>	Duale Hochschule Baden-Württemberg
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers
<b>ITIL</b>	IT Infrastructure Library
<b>RoI</b>	Return-On-Invest
<b>UCS</b>	Universal Character Set
<b>UTF-8</b>	8-Bit UCS Transformation Format

**Ergänzende Bemerkung:** Eine im Text verwendete Abkürzung sollte bei ihrer ersten Verwendung erklärt werden. Falls Sie sich nicht selbst darum kümmern möchten, kann das das Paket `acronym` übernehmen und auch automatisch Links zum Abkürzungsverzeichnis hinzufügen. Dazu ist an allen Stellen, an denen die Abkürzung vorkommt, `\ac{ITIL}` zu schreiben.

Das Ergebnis sieht wie folgt aus:

- erstmalige Verwendung von `\ac{ITIL}` ergibt: IT Infrastructure Library (ITIL),
- weitere Verwendung von `\ac{ITIL}` ergibt: ITIL

Wo benötigt, kann man mit dem Befehl `\acl{ITIL}` wieder die Langfassung ausgeben lassen: IT Infrastructure Library.

Falls man die Abkürzungen durchgängig so handhabt, kann man durch Paket-Optionen (in `_dhbw_preamble.tex`) erreichen, dass im Abkürzungsverzeichnis nur die tatsächlich verwendeten Quellen aufgeführt werden (Option: `printonlyused`) und zu jedem Eintrag die Seite der ersten Verwendung angegeben wird (Option: `withpage`).

Durch die aktivierte Paket-Option `nohyperlinks` wird verhindert, dass die Einträge im Abkürzungsverzeichnis mit Links zu der Stelle hinterlegt werden, wo der Begriff zum ersten Mal verwendet wird.

---

<sup>1</sup>siehe <http://ctan.org/pkg/acronym>

# Abbildungsverzeichnis

1	HMI-Oberfläche des Laserschneidprozesses . . . . .	3
---	----------------------------------------------------	---

# Tabellenverzeichnis

# 1 Einführung

## 1.1 Zielsetzung

Das Ziel dieser Projektarbeit ist es, ein bestehendes KI-gestütztes Assistenzsystem zu erweitern, das aktuell die Qualität beim Laserschneiden von Baustahlblechen vorhersagt und optimiert. Konkret soll die Leistungsfähigkeit dieses Modells auf Edelstahlbleche übertragen werden. Das aktuelle KI-Modell weist in Bezug auf Edelstahl Defizite auf, da es bisher nur mit Datensätzen von Baustahl trainiert wurde und die spezifischen Eigenschaften von Edelstahl unzureichend berücksichtigt. Um diese Lücke zu schließen, sollen neue, speziell auf Edelstahl zugeschnittene Trainingsdaten generiert und in das bestehende Modell integriert werden. Diese Daten erfassen insbesondere typische Eigenschaften wie Schneidgratbildung und Oberflächenrauheit. Zusätzlich werden bestehende optische Messmethoden geprüft und gegebenenfalls angepasst, um ihre Eignung für Edelstahl sicherzustellen. Das Ziel ist ein robustes und zuverlässiges KI-Modell, das die Qualität von Edelstahlschnitten ebenso präzise vorhersagen kann wie bereits für Baustahl.

## 1.2 Vorgehensweise

Zunächst wird ein systematischer Testplan erstellt, um wichtige Schneidparameter, insbesondere Laserleistung und Schnittgeschwindigkeit, für verschiedene Edelstahldicken und -güten zu untersuchen. Ziel dieses Testplans ist es, Parameterbereiche zu identifizieren, die zu sogenannten Schnittabrisen führen. Ein Schnittabriss entsteht, wenn durch ungünstige Schneidparameter das Werkstück nicht vollständig getrennt wird, da die Schnittkante verschweißt.

Nachdem kritische Parameterbereiche, welche zu schlechten Schneidergebnissen führen, ermittelt wurden, werden detaillierte Versuchspläne („Experimentalplans“) entwickelt. Diese umfassen systematische Schneidversuche für Edelstahlbleche mit Dicken bis zu 20 mm. Hierbei werden bewusst sowohl qualitativ hochwertige als auch minderwertige Schneidergebnisse erzeugt. Dies dient dazu, eine umfassende Datengrundlage für die Weiterentwicklung des KI-Modells bereitzustellen.

Die generierten Schneidproben werden anschließend in einer Messzelle vermessen, um die resultierenden Schnittkanten in die KI-Datenbank aufzunehmen. Da die Messmethoden ursprünglich für Baustahl entwickelt wurden, müssen sie für Edelstahl angepasst werden. Dies betrifft insbesondere die Kalibrierung und Einrichtung des Handscanner-Setups, welches Bilder der Schnittkanten für die Qualitätsschätzung aufnimmt. Ebenso muss die Vektorberechnung des eingesetzten 3D-Punktwolkenscanners optimiert werden. Da Edelstahlschnittkanten typischerweise ausgeprägtere Schneidgrate aufweisen, muss die Umrechnung der 3D-Punktwolke in einen 2D-Vektor entsprechend angepasst werden, um die tatsächlichen Merkmale der Schnittkanten präzise abzubilden.

Neben der quantitativen Messung des Schneidgrats wird auch die Oberflächenrauheit qualitativ bewertet. Hierzu werden bestehende Algorithmen zur Bildverarbeitung und Analyse geprüft und entsprechend den spezifischen Anforderungen von Edelstahl optimiert. Die aufbereiteten Messdaten fließen anschließend in die Erweiterung und das Training des bestehenden KI-Modells ein. Ziel ist, dass dieses Modell anschließend die Qualität der Laserschneidkanten bei Edelstahlblechen zuverlässig vorhersagen kann. Nach erfolgreicher Implementierung erfolgen Validierungstests sowie weitere gezielte Optimierungen, um die Vorhersagequalität kontinuierlich zu verbessern und sicherzustellen, dass das gewählte Parameterset bereits vor dem Schneidprozess zuverlässig bewertet werden kann.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Laserschneiden von Edelstahl

Das Laserschneiden von Edelstahlblechen ist ein hochpräzises thermisches Trennverfahren, bei dem ein stark gebündelter Laserstrahl die Materialoberfläche lokal erwärmt und zum Schmelzen bringt. Im Anschluss wird die geschmolzene Zone durch ein Assistenzgas aus dem Schnittspalt gedrückt, wodurch eine präzise Kante erzielt wird. Im Vergleich zu Baustahl erfordert Edelstahl aufgrund seiner spezifischen Legierungsbestandteile, die zu einer geringeren Wärmeleitfähigkeit und höheren Reflexionsrate führen, eine Anpassung der Prozessparameter. Um den Energieverlust durch Reflexion auszugleichen, muss die Laserausgangsleistung erhöht werden, während gleichzeitig die Schnittgeschwindigkeit präzise kalibriert wird, um eine gleichmäßige Schmelz- und Materialabtragsrate sicherzustellen. Ein weiterer entscheidender Einflussfaktor ist die korrekte Einstellung der Fokustiefe, da eine Abweichung sowohl zu unregelmäßigen Schnittkanten als auch zu erhöhter Gratbildung führen kann. Die Wahl des Assistenzgases und dessen Druck sind wesentliche Faktoren, die es zu berücksichtigen gilt. Stickstoff verhindert Oxidationsprozesse an der Schnittkante und trägt zu einer glatteren Oberfläche bei, während Sauerstoff zwar höhere Schnittgeschwindigkeiten ermöglicht, jedoch oft mit einer dunklen, oxidierten Kante einhergeht. Die Erreichung angemessener Gasdruckwerte ist essenziell, um den effektiven Abtransport von Schlacke zu gewährleisten, ohne dabei die Schnittkante mechanisch zu beeinträchtigen. Darüber hinaus sind bei Edelstahlblechen materialbedingte Besonderheiten zu berücksichtigen. Die Tendenz zur fokussierten Applikation von Hitze resultiert oft in ausgeprägteren Schneidgraten, was die Nachbearbeitung erschwert und somit zu einem erhöhten Aufwand führt. Darüber hinaus kann die hohe Reflexionsrate bei gängigen Wellenlängen zu einer Reduktion der effektiven Energiedichte führen. In solchen Fällen können gepulste Laserquellen oder spezielle Strahlführungssysteme zum Einsatz kommen. Vor diesem Hintergrund müssen alle relevanten Parameter im Zusammenspiel abgestimmt werden, um sowohl die Schnittqualität als auch die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens zu optimieren.



Abb. 1: HMI-Oberfläche des Laserschneidprozesses



In Abbildung 1 ist die HMI-Oberfläche des Laserschneidprozesses abgebildet. Sie stellt die wesentlichen Prozessparameter – wie Laserleistung, Schnittgeschwindigkeit und Assistgasdruck – übersichtlich dar und bildet damit die Grundlage für die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Testpläne. Anhand dieser Testpläne werden die gezeigten Einstellungen systematisch variiert und ihre Auswirkung auf die Schnittqualität von Edelstahlblechen untersucht.

### **2.2 Grundlagen der Künstlichen Intelligenz**

### **2.3 Cutting Edge AI**

### **2.4 Messzelle und optische Messmethoden**

### 3 Stand der Technik

## 4 Überschrift auf Ebene 0 (chapter)

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

### 4.1 Überschrift auf Ebene 1 (section)

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

#### 4.1.1 Überschrift auf Ebene 2 (subsection)

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

#### Überschrift auf Ebene 3 (subsubsection)

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext

bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

**Überschrift auf Ebene 4 (paragraph)** Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

## 4.2 Listen

### 4.2.1 Beispiel einer Liste (itemize)

- Erster Listenpunkt, Stufe 1
- Zweiter Listenpunkt, Stufe 1
- Dritter Listenpunkt, Stufe 1
- Vierter Listenpunkt, Stufe 1
- Fünfter Listenpunkt, Stufe 1

### Beispiel einer Liste (4\*itemize)

- Erster Listenpunkt, Stufe 1
  - Erster Listenpunkt, Stufe 2
    - \* Erster Listenpunkt, Stufe 3
      - Erster Listenpunkt, Stufe 4
      - Zweiter Listenpunkt, Stufe 4
    - \* Zweiter Listenpunkt, Stufe 3

- Zweiter Listenpunkt, Stufe 2
- Zweiter Listenpunkt, Stufe 1

#### 4.2.2 Beispiel einer Liste (enumerate)

1. Erster Listenpunkt, Stufe 1
2. Zweiter Listenpunkt, Stufe 1
3. Dritter Listenpunkt, Stufe 1
4. Vierter Listenpunkt, Stufe 1
5. Fünfter Listenpunkt, Stufe 1

#### Beispiel einer Liste (4\*enumerate)

1. Erster Listenpunkt, Stufe 1
  - a) Erster Listenpunkt, Stufe 2
    - i. Erster Listenpunkt, Stufe 3
      - A. Erster Listenpunkt, Stufe 4
      - B. Zweiter Listenpunkt, Stufe 4
    - ii. Zweiter Listenpunkt, Stufe 3
  - b) Zweiter Listenpunkt, Stufe 2
2. Zweiter Listenpunkt, Stufe 1

#### 4.2.3 Beispiel einer Liste (description)

- Erster** Listenpunkt, Stufe 1
- Zweiter** Listenpunkt, Stufe 1
- Dritter** Listenpunkt, Stufe 1
- Vierter** Listenpunkt, Stufe 1
- Fünfter** Listenpunkt, Stufe 1

**Beispiel einer Liste (4\*description)**

**Erster** Listenpunkt, Stufe 1

**Erster** Listenpunkt, Stufe 2

**Erster** Listenpunkt, Stufe 3

**Erster** Listenpunkt, Stufe 4

**Zweiter** Listenpunkt, Stufe 4

**Zweiter** Listenpunkt, Stufe 3

**Zweiter** Listenpunkt, Stufe 2

**Zweiter** Listenpunkt, Stufe 1

# Erklärung zur Verwendung generativer KI-Systeme

Bei der Erstellung der eingereichten Arbeit habe ich auf künstlicher Intelligenz (KI) basierte Systeme benutzt:

☒ ja

☐ nein<sup>2</sup>

Falls ja: Die nachfolgend aufgeführten auf künstlicher Intelligenz (KI) basierten Systeme habe ich bei der Erstellung der eingereichten Arbeit benutzt:

- 1.
- 2.
3. ...

Ich erkläre, dass ich

- mich aktiv über die Leistungsfähigkeit und Beschränkungen der oben genannten KI-Systeme informiert habe,<sup>3</sup>
- die aus den oben angegebenen KI-Systemen direkt oder sinngemäß übernommenen Passagen gekennzeichnet habe,
- überprüft habe, dass die mithilfe der oben genannten KI-Systeme generierten und von mir übernommenen Inhalte faktisch richtig sind,
- mir bewusst bin, dass ich als Autorin bzw. Autor dieser Arbeit die Verantwortung für die in ihr gemachten Angaben und Aussagen trage.

Die oben genannten KI-Systeme habe ich wie im Folgenden dargestellt eingesetzt:

Arbeitsschritt in der wissenschaftlichen Arbeit	Eingesetzte(s) KI-System(e)	Beschreibung der Verwendungsweise

---

<sup>2</sup>Die Erklärung ist in jedem Fall zu unterzeichnen, auch wenn Sie keine KI-Systeme genutzt haben und Ihr Kreuz bei „nein“ gesetzt haben.

<sup>3</sup>U.a. gilt es hierbei zu beachten, dass an KI weitergegebene Inhalte ggf. als Trainingsdaten genutzt und wiederverwendet werden. Dies ist insb. für betriebliche Aspekte als kritisch einzustufen.

(Ort, Datum)

(Unterschrift)



# Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Thema: *Mein Titel* selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Ich versichere zudem, dass die eingereichte elektronische Fassung mit der gedruckten Fassung übereinstimmt.

(Ort, Datum)

(Unterschrift)