

Intuitives, nutzerzentriertes Roboter-Teaching am Beispiel des Fertigungsverfahrens Entgraten

Ehsan Matour¹, Robert Eckardt¹, Sebastian Roch¹, Leif Goldhahn¹, Alexander Winkler¹, Petra Hoske², Michelle Schlicher², Christopher Werner², Dirk Ackner², Carolin Böhme³, Markus Gahrlich⁴

¹) Hochschule Mittweida, Mittweida; Deutschland

²) Wandelbots GmbH, Dresden, Deutschland

³) ICM - Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e.V., Chemnitz, Deutschland

⁴) Caleg Schrank und Gehäusebau GmbH, Calau, Deutschland

Kurzfassung

Hilfsmittel zur Entlastung der Menschen, welche täglich monotone Tätigkeiten in spanenden Fertigungssystemen durchführen, werden aus Sicht der menschengerechten Arbeitsgestaltung, fehlender Arbeitskräfte und hoher Lohnkosten vor allem in den Strukturwandelregionen, welche vom Braunkohleausstieg betroffen sind, immer wichtiger. Aufgaben wie das Handentgraten, als monotone Tätigkeit mit Gefährdungspotential, führen häufig zu Fehlern an den Produkten. Kleine Losgrößen (im betrachteten Unternehmen zwischen 20 und 100 Stück) lassen den unterstützenden oder auch ablösenden Einsatz von Industrierobotern zur Durchführung solcher Tätigkeiten bisher unwirtschaftlich erscheinen. Auch die kognitive und motorische Anpassungsfähigkeit des Menschen an unterschiedliche Entgrataufgaben konnte bisher nicht zufriedenstellend auf Roboter adaptiert werden. Daher ist die Entwicklung von effizienten und intuitiven Einlernprozessen von Robotern auf variierende Bauteile durch den Menschen notwendig. Der Beitrag befasst sich mit dem intuitiven, nutzerzentrierten Roboter-Teaching am Beispiel des Fertigungsverfahrens Entgraten für ein KMU aus der Lausitz.

1. Einleitung

In den letzten Jahren hat der Einsatz von kollaborativen Leichtbaurobotern zugenommen. Im Vergleich zu traditionellen Industrierobotern liegt hier das Verhältnis von Handhabungsmasse zu Eigenmasse näher bei 1:1 als bei 1:10. Kollaborative Roboter, auch bekannt als Cobots, werden aufgrund ihrer Fähigkeit, sicher mit Menschen und der Umgebung zu interagieren, zunehmend eingesetzt [1]. Diese Roboter ermöglichen die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine, da sie über eine sichere Leistungs- und Kraftbegrenzung verfügen. Ausgestattet mit weiteren Sensoren, wie z. B. Kameras und Laserscannern können sie zudem mögliche Kollisionen mit Menschen erkennen und vermeiden. Die Anzahl der Installationen von Industrierobotern hat sich in den vergangenen Jahren erheblich gesteigert.

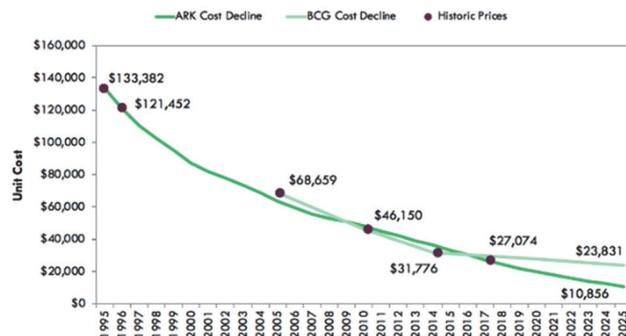


Abbildung 1: Kostentwicklung Industrieroboter [2]

Nach wie vor stellen die hohen Anschaffungskosten (siehe Abbildung 1) und teils sehr komplexe Programmierung die größten Eintrittsbarreren für Unternehmen dar [2].

Kollaborative Roboter sind aufgrund ihrer integrierten Schutzeinrichtungen einfacher einzurichten und zu betreiben, was sie für kleinere Unternehmen und Anwender mit begrenzten Ressourcen zugänglicher macht [3]. Ihre Flexibilität und Anpassungsfähigkeit treiben auch ihre Akzeptanz voran, da sie leicht umprogrammiert und neu konfiguriert werden können, um unterschiedliche Aufgaben auszuführen. Dadurch sind sie vielseitiger als traditionelle Industrieroboter, die in der Regel für spezifische Anwendungen eingesetzt werden.

Arbeitswissenschaftliche Analysen bieten die Möglichkeit Arbeitstätigkeiten zu strukturieren sowie menschliches Handeln und entsprechend vorhandenes Wissen besser zu verstehen und zu nutzen. Mit Hilfe einer datenbasierten Modellierung kann dieses Wissen als Grundlage intuitiver nutzerzentrierter Technologien dienen. Dazu sind Daten aus den realen Prozessen, über die Umwelt und zum Umgang der Nutzer mit intuitiven Technologien erforderlich. Datenbasierte Assistenzsysteme, welche auf Basis dieser Daten entwickelt werden, können den Menschen in hybriden Arbeitssystemen ergonomisch und effektiv unterstützen [4].

Das Thema des intuitiven, nutzerzentrierten Roboter-Teachings am Beispiel des Fertigungsverfahrens

Handentgraten ordnet sich in das Schwerpunktprojekt 3 des Verbundvorhabens PerspektiveArbeit Lausitz (PAL) sein.

2. Ausgangssituation

Die Firma Caleg Schrank und Gehäusebau GmbH ist im Sonderschaltsschrankbau tätig. Hierbei werden kundenspezifische Lösungen gefertigt und keine eigenen Serienprodukte. Die Fertigung ist daher im Vergleich zu Großserienproduktionen wenig automatisiert. Die Arbeitsplätze müssen daher regelmäßig modifiziert werden, um sich auf das jeweilige Produkt anzupassen. Die durchschnittliche Losgröße in der Fertigung bewegt sich zwischen 20 und 100 Stück, im Mittel 45 Stück pro Fertigungslos. Es handelt sich dann jedoch um Wiederholteile, welche über mehrere Jahre regelmäßig gefertigt werden. Automatisierungen in den einzelnen Fertigungsprozessen können durch die Wiederholfertigung auch bei kleinen Losgrößen lohnenswert sein.

Die Produkte werden zu 90% aus Dünnblech, im Bereich zwischen 1,0 bis 3,0 mm gefertigt. Es werden hierbei nur wenige Halbzeuge verarbeitet, sondern fast ausschließlich Blechplatinen. Der Materialmix besteht aus ca. 88% kaltgewalztem Stahlblech DC01 (1.0330), 10% X5CrNi18-10 (1.4301) und 2% AlMg3 (3.3535)

Die Zuschnitte werden auf Laser- Stanzmaschinen gefertigt (vgl. Abbildung 2).



Abbildung 2: Laser- Stanzmaschine bei Caleg

Teile, welche nachfolgend fertigungsseitig nicht pulverbeschichtet werden, müssen zusätzlich entgratet werden, um Schnittverletzungen zu verhindern. Bis dato geschieht dieser Entgratprozess durch handgeführte Werkzeuge mit Messer- oder Rollen Klinge, sowie Feilen oder Schleifwerkzeuge (vgl. Abbildung 3).

Diese Arbeit findet größtenteils auf Montageböcken oder einem Drehtisch statt, um Mitarbeitenden eine ergonomische Arbeitshöhe zu bieten. Da diese Arbeit äußerst monoton ist und das Wenden der Teile auch

körperlich anstrengend, ist die Firma Caleg bestrebt dies zukünftig zu automatisieren. Verstärkt wird dieser Fakt durch den anhaltenden Fachkräftemangel, wodurch es zukünftig nicht gelingen wird unattraktive Arbeiten zu besetzen. Durch die geringen Losgrößen und den langwierigen Programmieraufwand schien es bisher nicht möglich Industrieroboter oder Ähnliches einzusetzen. Zudem ist die kognitive und handwerkliche Anpassungsfähigkeit des Menschen bis dato den automatisierten Prozessen überlegen. Des Weiteren müssen auch die Nebentätigkeiten, wie das Entnehmen, Ablegen, Palettieren, Fixieren, Drehen mit betrachtet werden, um eine Automatisierung gewinnbringend einzubinden.



Abbildung 3: Beispiel für manuellen Entgratvorgang

Durch die aktuellen Fortschritte in der Cobot-Programmierung scheint es möglich, dass keine Robotik-Spezialisten benötigt werden, um die Roboteranwendung anzulernen. Anwendungsspezifische Assistenten wie der TracePen der Firma Wandelbots werden Mitarbeitende in der Fertigung unterstützen. Zudem können Cobots auch mit intuitiven „Direct Teaching“ Methoden angelernt werden. Beides setzt die Hemmschwelle bei der Roboterprogrammierung und auch Vorkenntnisse im Umgang mit diesen herab. Durch diese Vereinfachung hofft die Firma Caleg auch bei geringen Losgrößen Cobot-Systeme wirtschaftlich einsetzen zu können.

3. Technologische Herangehensweise

3.1. Roboterassistiertes Entgraten mittels universellem Hand-Entgratwerkzeug

3.1.1. Komponenten und Systemaufbau roboterassistiertes Handentgraten

Die Versuche an der Hochschule Mittweida zum roboterassistierten Entgraten basieren auf der Substitution eines konventionellen Spindelmotors durch ein universelles Entgratungswerkzeug mit Klinge am Roboterflansch. Das eingesetzte Entgratwerkzeug wird normalerweise

für manuelles Entgraten verwendet. Der Cobot mit Werkzeug ist in Abbildung 4 zu sehen. Der Kopf des Werkzeugs ist drehbar, so dass er bei Bedarf leicht ausgerichtet werden kann. Als zu entgratendes Werkstück wurde ein quadratischer Aluminiumblock verwendet und auf einem Tisch aufgespannt.

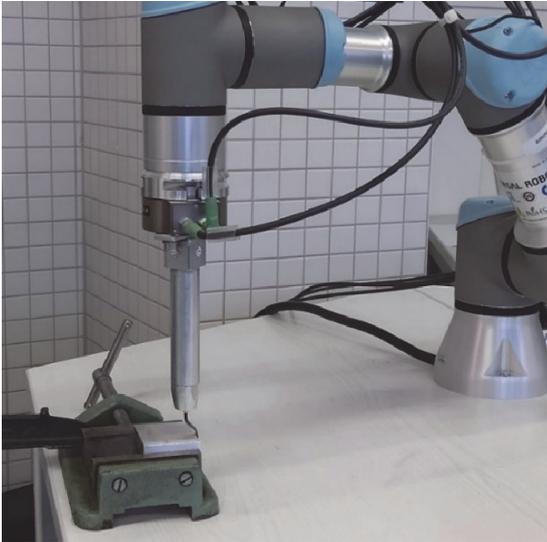


Abbildung 4: Prozess des Entgratens mit manuellen Entgratwerkzeug

Die Vorteile dieser Methode liegen darin, dass das Entgratwerkzeug viel wirtschaftlicher ist als ein Spindelmotor, sehr einfach installiert werden kann [5] und kein Schleifstaub entsteht. Bei Verwendung eines Handentgraters entstehen im Vergleich zu klassischen maschinellen Entgratmethoden größere Späne, welche zudem aufgrund der fehlenden Rotationsbewegung in unmittelbarer Nähe zum Werkstück liegen bleiben. Da passive Werkzeuge keine externe Medienversorgung benötigen, wie z. B. Druckluft, sind diese Werkzeugtypen eine günstige Alternative. Darüber hinaus sind sie im Vergleich zu anderen Entgratwerkzeugen aus sicherheitstechnischer Sicht zuverlässiger und stellen geringere Gefahren für den menschlichen Bediener dar, da sie keinen mechanischen oder elektrischen Aktuator haben.

Der Roboter, der im Anwendungsfall verwendet wird, ist ein Cobot des Typs UR3e von Universal Robots. Dieser Ansatz eignet sich z. B. für kleinere Arbeitsplätze an denen außerdem nur geringe Schmutzentwicklung gewünscht ist. Die Roboter vom Typ URxe sind mit einem internen 6-Komponenten Kraft-/ Momentensensor ausgestattet. Dieser macht es der Steuerung möglich, sensorgeführte Bewegungen zu generieren, was zur Kraft-/ Momentregelung führt. Eine gängige Regelstruktur ist dabei die hybride Kraft-/ Lageregelung, bei der die Kontaktkräfte entlang der einzelnen kartesischen Freiheitsgrade eingestellt werden können [6]. Die interne Kraftregelungsschleife wird für die kraftgeregelte Bewegung des Roboters während des Prozesses verwendet. Das UR-Skript, das alle Steuerparameter für das Entgraten enthält, wie z. B. Kraft und Geschwindigkeit des Mani-

pulators, wird über MATLAB einmalig gestartet und anschließend an den Robotercontroller gesendet.

3.1.2 Kraftregelung am Cobot

Die Steuerung des Roboters verfügt über die Funktion des Multithreadings. Der Kraftregler wird dabei parallel zum Hauptprogramm ausgeführt, welches die gewünschte Bewegung des Roboters enthält. Als Bewegungsbefehle stehen *movej*, *movel* und *movec* für Gelenk-, Linear- bzw. Kreisinterpolation zur Verfügung. Zur Implementierung der Kraft-/Momentenregelung wurde der Befehl *force mode* in URScript [7] verwendet.

3.1.3 Versuchsdurchführung

Um ein gleichmäßiges Entgraten des Werkstücks zu erreichen ist es wichtig, während des gesamten Prozesses eine konstante Kraft auf die Kante des Werkstücks aufzubringen. Hierfür sind die korrekten Einstellungen für die Geschwindigkeit des Roboters entlang der Kante die entsprechend aufgewendete Kraft erforderlich. Daher ist es notwendig, zunächst die Auswirkungen von Schnittgeschwindigkeit und Kraft zu untersuchen.

Um die angewandte Kraft während des Entgratungsprozesses in Echtzeit zu messen und aufzuzeichnen, wurde ein externer Kraft-/ Momentensensor (KMS) am Flansch des Roboters montiert. Dieser ist präziser als der interne KMS. Er wird über Ethernet mit einem PC verbunden, um die Messwerte von Kraft und Moment zu erfassen.

Es wurden Experimente mit unterschiedlichen Einstellungen für Kraft und Geschwindigkeit durchgeführt und dabei die auf das Werkstück tatsächlich wirkende Kraft gemessen. So konnten die minimalen und maximalen Grenzwerte für einen optimalen Entgratprozess bestimmt werden.

Die aufgewendete Kraft wurde schrittweise von 1N auf 10N erhöht und für jede Kraft wurde die Geschwindigkeit zwischen 10 mm/s auf 100 mm/s variiert. Anhand der aufgenommenen Kraftkurven konnte festgestellt werden, dass Kräfte von weniger als 5N fast keine Auswirkungen auf das Werkstück hatten. Die Abbildung 5 zeigt, dass eine geregelte Kraft von 7N und eine konstante Geschwindigkeit von 10 mm/s zu einer stabilen Kraftkurve mit weniger Schwingungen führte, was wünschenswert ist.

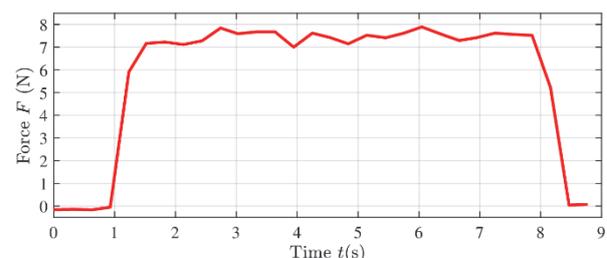


Abbildung 5: Kontaktkraft während des Entgratens mit einem gewünschten Wert von 7 N und konstanter Geschwindigkeit

Eine Erhöhung der Geschwindigkeit kann jedoch Vibrationen im Roboterarm verursachen, was zu einer Verän-

derung der auf das Objekt ausgeübten Kraft führt, wie in Abbildung 6 zu sehen ist. Daher haben sich eine Geschwindigkeit von weniger als 30 mm/s und eine Kraft zwischen 5N und 10N als beste Ergebnisse erwiesen.

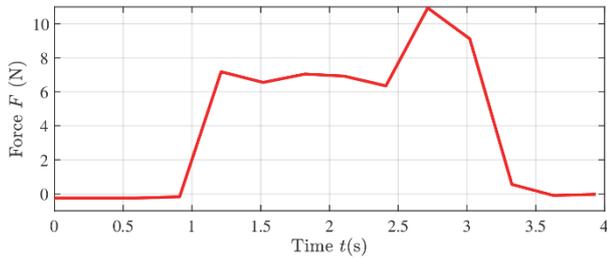


Abbildung 6: Kontaktkraft während des Entgratens mit einem gewünschten Wert von 7N und hoher Geschwindigkeit

3.1.4 Intuitive kraftgeregelte Roboterbewegungen

In diesem Ansatz soll der Roboter per Teach-in-Methode programmiert werden. Die Geometrie des zu entgratenden Objekts ist nicht immer die gleiche und die Programmierung durch diese Methode kann in einigen Fällen zeitaufwendig sein. Das System sollte daher in der Lage sein, schnell programmiert zu werden, um die Kante des Objekts zu identifizieren.

Eine Lösung könnte die Verwendung einer Kamera sein, um die Kante des Objekts auf der Grundlage von Bildverarbeitungsmethoden zu erkennen, gefolgt von der automatischen Generierung einer Robotertrajektorie. Hier bietet sich auch der Einsatz von Augmented Reality (AR) an, da diese einen benutzerfreundlichen und vereinfachten Programmierprozess ermöglicht. An der Hochschule Mittweida wird eine AR-basierte Methode entwickelt, die eine intuitive Bewegungsplanung mit Hilfe eines Head-Mounted Displays (HMD) (Microsoft Hololens 2) ermöglicht. Der Bediener erhält visuelles Feedback der internen Roboterinformationen und kann auf intuitivem Wege einen Pfad für den Roboter definieren. Dieser Pfad kann durch überlagerte Objekte verfolgt werden, was den Programmieraufwand erheblich reduziert.

Die Abbildung 7 zeigt den Roboter und sein virtuelles Modell, die einem generierten Pfad folgen, der auf Wegpunkten basiert, die durch den menschlichen Bediener mittels AR definiert wurden.

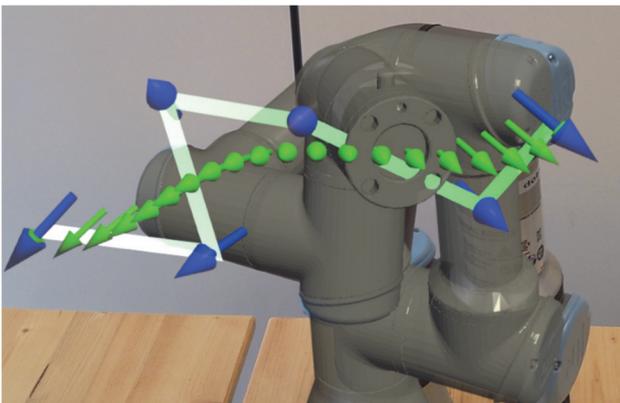


Abbildung 7: Intuitive Roboter-Bewegungsplanung durch AR

3.1.5 Zusammenfassung und Ausblick

Da es sich bei dem in dieser Arbeit verwendeten Roboter um einen kollaborativen Roboter handelt und der Entgratungsprozess mittels einer kraftgesteuerten Bewegung durchgeführt wird, kann die vom Roboter ausgeübte Kraft für härtere Materialien zu gering sein. Das Entgratwerkzeug kann jedoch für eine Vielzahl von anderen Werkstoffen (zum Beispiel Werkstoffe wie 1.0330, 1.4301 oder 3.3535) eingesetzt werden.

Die manuelle Programmierung des Robotersystems ist ein großer Nachteil, was für Objekte mit unterschiedlichen Größen zeitaufwendig sein kann. Eine automatische Bahngenerierung durch eine Kamera oder AR-basierte Ansätze können die Programmierzeit erheblich reduzieren. In diesem Fall lässt sich der Einrichter ein visuelles Feedback über die internen Informationen des Roboters geben, während er die Qualität des entgrateten Werkstücks bewertet, was zu einer Qualitätssicherung in Form des bewerteten Grats (keine Schnittgefahr) führt. Allerdings kann die Verwendung eines HMD bei längerem Tragen mühsam werden [8].

3.2. Robotergestützte Entgraten mittels druckluftbasiertem Entgratwerkzeug

3.2.1. Ausgangssituation

Mehr und mehr Firmen versuchen mit innovativen Ansätzen zumindest die Roboterprogrammierung zu vereinfachen, wie auch die Firma Wandelbots.

Bestehende Software-Anwendungen von Wandelbots ermöglichen es intuitiv mit Robotern zu interagieren und von konkreter Roboter-Hardware unabhängige Automatisierungsanwendungen aufzubauen. Nicht-Roboterexperten können, ganz ohne eine einzige Zeile Code zu schreiben, die Roboter programmieren. Auf diese Weise wurden auch die Entgratversuche von Wandelbots mittels des selbst entwickelten TracePen durchgeführt.

3.2.2. Komponenten und Systemaufbau robotergestütztes, druckluftbasiertes Entgraten

Die Firma Wandelbots testete das CDB-Entgratwerkzeug der Firma Schunk (Abbildung 8 und 9), welches den Anpressdruck wechselbarer Werkzeuge, wie bspw. einer Entgratklinge, mittels Druckluft regelt. Das CDB-Tool wirkt als dämpfendes Element zwischen dem starr verfahrenen Roboter und dem fest eingespannten Werkstück. Die Entgratklinge kann dadurch in radialer und axialer Richtung nachgeben. Wird der Luftdruck (in bar) erhöht, wird mehr Kraft (in N) auf das Werkstück übertragen.

Zum Anlernen von Roboterpfaden nutzte die Firma Wandelbots den selbst entwickelten TracePen als smartes Zeigergerät bzw. Werkzeug-Mockup (Abbildung 10). Damit führen Nutzer die über einen Knickarmroboter zu automatisierenden Arbeitsaufgaben händisch vor (Teaching by Demonstration). Die Bewegungen des TracePens (Pfade der TracePen-Spitze, Ausrichtungen

des TracePens, ggf. Geschwindigkeiten und I/O-Signale) werden erfasst und anschließend in Trajektorien überführt, welche Roboterarme ausführen können. Wandelbots kombiniert dazu Sensordaten mit visueller Programmierung (App), Wissensplattform (Robotik / Fertigung) und KI-Methoden. Inverse kinematische Modelle ermöglichen, Roboterarme im Teaching-Prozess live zu steuern, damit Nutzer Bewegungen und Aktionen im Fertigungsumfeld überprüfen und mit der intuitiven Werkzeugpalette der App nachjustieren können. Softwarealgorithmen erzeugen anschließend fertige Automatisierungsprozesse, die basierend auf den jeweiligen Roboterprotokollen in ausführbare Skripte übersetzt werden.

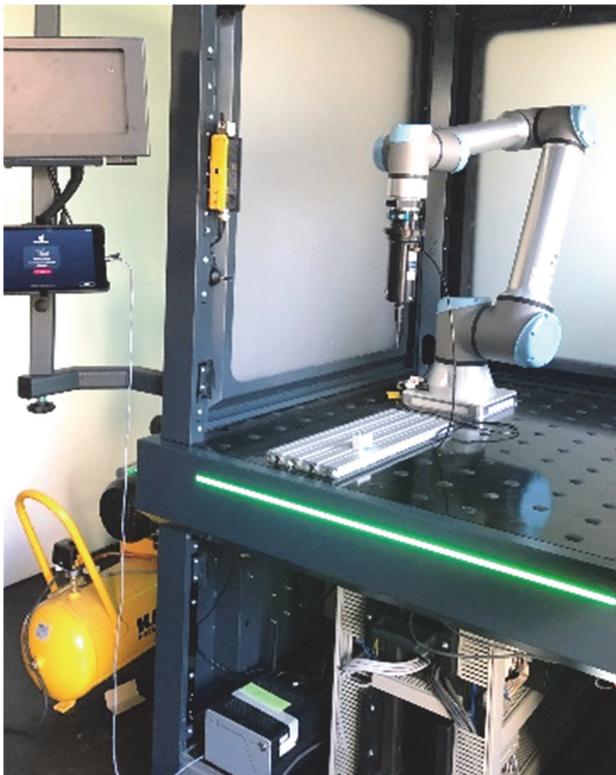


Abbildung 8: Testaufbau zum Roboterentgraten mit einem Universal Robot UR10, CDB-Entgratwerkzeug der Fa. Schunk, einem transportablen Kompressor der Fa. KAESER in einer Standardzelle der Fa. Sojka Automation



Abbildung 9: CDB-Entgratwerkzeug [9]

Zum TracePen gibt es verschiedene auswechselbare Werkzeug-Spitzen. Beim Entgraten mit der Wandelbots Teaching-Lösung musste festgestellt werden, dass die Standardspitzen keine intuitive Nutzung zulassen. Aus diesem Grund wurden verschiedene Anpassungen an den Spitzen vorgenommen und getestet (Abbildung 11).



Abbildung 10: Handhabung des TracePen beim Teachen (Teaching by Demonstration)

Hierbei wurde zum einen eine Spitze mit Entgratklinge entworfen, welche direkt den Prozess eines Handentgraters nachahmen soll. Die Art der Nutzung einer Entgratklinge variiert von Person zu Person und wird davon beeinflusst, ob ein Nutzer Links- oder Rechtshänder ist und wie er besser Druck auf das Werkstück ausüben kann. Diese Informationen bilden den Prozess zwar gut ab, bei bereits aufgespanntem Werkstück wird der TracePen mit Entgratklinge aber unnatürlich geführt, was zu einem erhöhten Aufwand der Nachbearbeitung führt. Eine nutzerunabhängige Optimierung wird zudem erschwert. Aus diesem Grund wurde eine weitere Spitzenvariante entworfen, welche eine rechtwinklige Kante besitzt, mit der die zu entgratende Kante geometrisch eingelernt werden kann. Bei dieser Variante ist es notwendig den Pfad und die Prozessparameter in einem Folgeschritt möglichst automatisiert anzupassen, so dass die optimale Kraft und der optimale Winkel zum Werkstück eingestellt werden. Bei der Parameterbestimmung können KI-Algorithmen zum Einsatz kommen.



Abbildung 11: Neue Spitzen zum händischen teachen mit dem TracePen (links Entgratklinge, rechts rechtwinklige Ausführung zum teachen gerader Kanten)

3.2.3 Versuchsdurchführung

Im Rahmen der Vorversuche im Projekt sind Kanten von Aluminiumquadern und -zylindern aus AlCuMgPb (3.1645) (Abbildung 12) entgratet worden. Bei Zylinderdurchmessern kleiner 30mm erwies sich das automatisierte Entgraten der Werkstücke mit der Entgratklinge als schwierig. Hier sind andere Werkzeuge, wie bspw. Rohrentgrater besser geeignet.

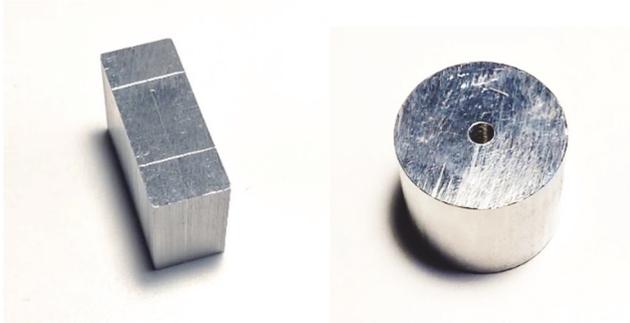


Abbildung 12: Werkstücke für die Vorversuche (Alublöcke)

Endanwender akzeptieren Automatisierungslösungen mit Entgratklinge nur, wenn es dem Roboter so, wie dem Mensch, gelingt, den kompletten Grat beim einmaligen Überfahren der Kante zu entfernen. Für die vollständige Bearbeitung einer Kante wird 2-mal mittig dieser Kante angesetzt und zu jeder Seite hin abgezogen, da die Entgratklinge nicht an Werkstückecken ansetzen kann. Zudem ist die Entgratklinge zu Beginn an einer Kante auszurichten, damit sie beim automatischen Ansetzen keine Einschnitte im Werkstück erzeugt. Für gute Ergebnisse sollte die Entgratklinge mit einem Winkel zwischen 30° und 45° geführt werden, was von der Materialhärte, der gewünschten Fase und nutzbaren Kraft abhängt. Hierbei wird empfohlen, eine Geschwindigkeit von 100 mm/s oder weniger zu verwenden, wobei nur ziehend zu arbeiten ist.

3.2.4 Intuitive kraftgeregelt Roboterbewegungen

Um verschiedene Kräfte auf die Kante des Werkstücks aufzubringen wurden der Druck des Kompressors für das Entgratwerkzeug und die Fahrgeschwindigkeit des Roboters variiert sowie die y-Achse am Entgratwerkzeug (axiale Richtung) mit und ohne Sperre verwendet. Bei den Messungen sind die auf den Roboter wirkenden Kräfte (Kraft-Momentensensor im Roboterflansch) in Richtung des Roboter-Arbeitspunkts am Werkstück (TCP Tool Center Point) ausgelesen und über die Zeit geplottet worden, wobei das Entgratergebnis qualitativ beurteilt wurde. Externe Kraft-/Momentensensoren am Werkzeugflansch kamen nicht zum Einsatz. Abbildung 13 stellt ausgewählte Messergebnisse dar. Dabei zeigt sich, dass eine Sperrung der Werkzeuglängsachse (y-Achse) die aufgebrachte Kraft erhöht und zu weniger Oszillation beim Kantenkontakt führt. Eine langsamere Verfahrensgeschwindigkeit, bspw. 10 mm/s, führt zu einem gleichmäßigeren Abtrag, wobei aber auch bei 100 mm/s die Resultate noch als gut bewertet wurden. Daraus resultiert die Empfehlung 50 mm/s Verfahrensgeschwindigkeit zu

wählen. Bei Aluteilen reichen ca. 2 bar Kompressordruck aus, wobei sich bei der Einstellung der Kraftsteuerung (Force Control) des UR10e Roboters ein mittlerer Wert, ca. 8N, als günstig erwiesen hat.

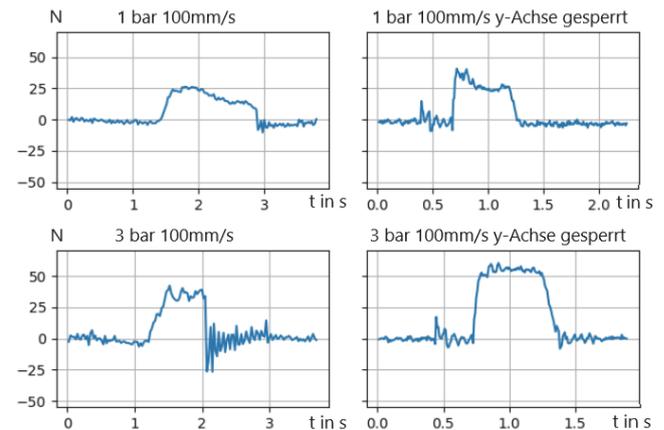


Abbildung 13: Vergleich der auf den Roboter wirkenden Kräfte bei unterschiedlichen Drücken des Kompressors, Verfahrensgeschwindigkeiten des Roboters sowie ohne und mit Sperrung der Werkzeuglängsachse (y-Achse)

3.2.5 Zusammenfassung und Ausblick

Die durchgeführten Untersuchungen zum roboterbasierten Entgraten zeigten, dass das Einlernen des Roboters mit dem TracePen in seiner aktuellen Form möglich ist. Das manuelle Teaching und die Handhabung der Teile können sich für den praktischen Einsatz bei vielen Bauteilen der Fa. Caleg als immer noch zu kompliziert und aufwendig erweisen. Aus diesem Grund wurden erste Tests hinsichtlich einer automatischen Detektion der Entgratkanten durchgeführt. Hierfür soll eine Untersuchungsumgebung mit Kamera entstehen, um die an einem Werkstück zu entgratenden Kanten mittels Bildverarbeitung automatisiert zu erkennen. Basierend auf einem KI-Algorithmus gilt es, daraus einen günstigen Roboterpfad zu generieren und diesen mit optimaler Geschwindigkeit abzufahren.

4. Ausblick Schwerpunktprojekt

Im weiteren Fortschritt des Schwerpunktprojektes ist die Erweiterung der Technologiebetrachtung um das Fertigungsverfahren Schweißen vorgesehen. Hier soll vor allem die Kombination unterschiedlicher Teachingvarianten und Sensoren zur Bahnverfolgung für praxistypische Bauteiltoleranzen beim Schweißen untersucht werden.

Ein Entwicklungsschwerpunkt von Wandelbots ist derzeit des Wandelbots Operating System, mit Wandelscript als eigener Programmiersprache. Hierbei handelt es sich um ein eigens entwickeltes Betriebssystem für Roboteranwendungen als flexible Lösung für industrielle Umgebungen. Mit Hilfe des Wandelscript können spezifische Roboterprozesse beschrieben, simuliert und im Nachgang ausgeführt werden. Die Berechnung der Roboterpfade mitsamt der Interaktionen wird dabei durch eine künstliche Intelligenz (KI) vorgenommen werden. Indem die KI Roboterpfade für konkrete

Bauteile automatisiert erzeugt, reduziert sich der Programmieraufwand erheblich, was einer praxistauglichen Entgratanwendung zugutekommen kann.

Ergänzend dazu bietet der Import von CAD-Daten der Bauteile für einige Anwendungsfälle eine Mehrwert, insb. wenn es sich um komplexe Geometrien handelt die sich schwer mittels Kamera oder TracePen allein erfassen lassen. Diese Funktionalität ist in naher Zukunft für Tests einsetzbar und kann zur Vereinfachung und Stabilität des Prozesses beitragen.

Darüber hinaus ist die Detektierung von Bauteilkanten (vgl. Abbildung 14), durch eine Kamera vorgesehen. Diese Kanten entstehen beispielsweise beim Schweißen. Die kamerabasierte Kantenerkennung soll zur Bahnplanung, basierend auf der optischen Detektierung der Kanten und einer daraus resultierenden Bahnberechnung, von Cobots genutzt werden.

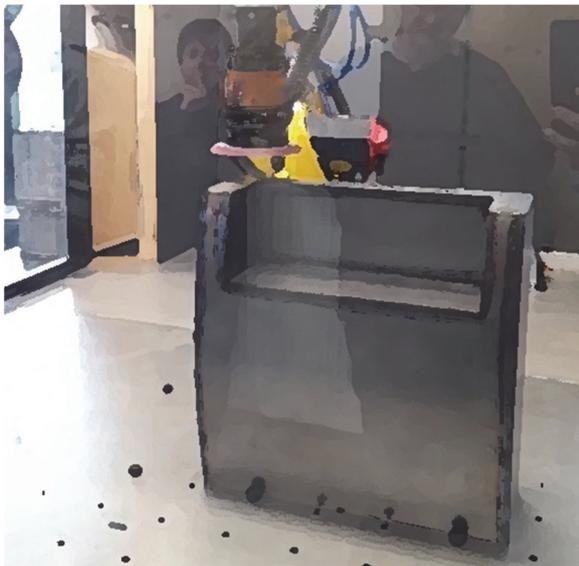


Abbildung 14: Beispielbauteil im Versuchsaufbau zur Kantenerkennung

Literaturverzeichnis

- [1] Bernd Finkemeyer, „Towards safe human-robot collaboration,“ 22nd International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR), pp. 883-885, 2017
- [2] Sam Korus. Industrial Robot Cost Declines Should Trigger Tipping Points in Demand. URL: <https://ark-invest.com/articles/analyst-research/industrial-robot-cost-declines/>, verfügbar: 30.05.2023, 2019
- [3] Christoph Petzoldt, Dennis Keiser, Henrik Siesenis, Thies Beinke, and Michael Freitag. Ermittlung und Bewertung von Einsatzpotenzialen der Mensch-Roboter-Kollaboration. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 116(1-2):8-15, 2021
- [4] Reinhart, Gunther; Bengler, Klaus; Dollinger, Christiane; Intra, Carsten; Lock, Christopher; Popova-Dlogosch, Severina; Rimpau, Christoph; Schmidler, Jonas; Teubner, Severin; Vernim, Susanne: Der Mensch in der Produktion von Morgen. In: Gunther, Reinhart (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0 – Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik. München: Carl Hanser Verlag, ISBN 978-3-446-44642-7, pp. 51-88, 2017
- [5] I. F. Onstein, O. Semeniuta, and M. Bjerkeng, “Deburring using robot manipulators: A review,“ in Proc of. 3rd International Symposium on Small-scale Intelligent Manufacturing Systems (SIMS), 2020
- [6] John J. Craig, Hans Raibert, „Hybrid position/force control of manipulators,“ ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, pp. 126-133, 1981
- [7] Universal Robots A/S, The URScript Programming Language, 2018
- [8] Goldhahn, Leif; Roch, Sebastian: AR-gestützte Vorrichtungsplanung für Werkzeugmaschinen. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (Hrsg.): Technologie und Bildung in hybriden Arbeitswelten. Bericht zum 68. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft vom 02.-04. März 2022. Sankt Augustin: GfA Press, ISBN 978-3-936804-31-7, B.9.1. pp. 1-6, 2022
- [9] Schunk: CDB Entgratwerkzeug. URL: https://schunk.com/de/de/automatisierungstechnik/bearbeitungswerkzeuge/cdb/c/PGR_5138, Verfügbar 30.05.2023, 2023

Danksagung / Angaben zu Fördermittelgebern

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die finanzielle Unterstützung sowie dem Projektträger Karlsruhe (PTKA) für die administrative Unterstützung des Verbundvorhabens PerspektiveArbeit Lausitz (PAL). Darüber hinaus gilt der Dank bei der inhaltlichen Zusammenarbeit den Projektpartnern Wandelbots GmbH, ICM - Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e.V. sowie der Caleg Schrank und Gehäusebau GmbH für eine innovative und sehr kooperative Zusammenarbeit.



Förderkennzeichen 02L19C300 - 02L19C327. Projektlaufzeit: 01.11.2021 – 31.10.2026

Kontaktdaten

Prof. Dr.-Ing. Leif Goldhahn

Hochschule Mittweida Leiter
Insitut InnArbeit – Zentrum für
innovative Arbeitsplanung und
Arbeitswissenschaft

Koordinator Verbundvorhaben
PAL

Goldhahn@hs-mittweida.de

